

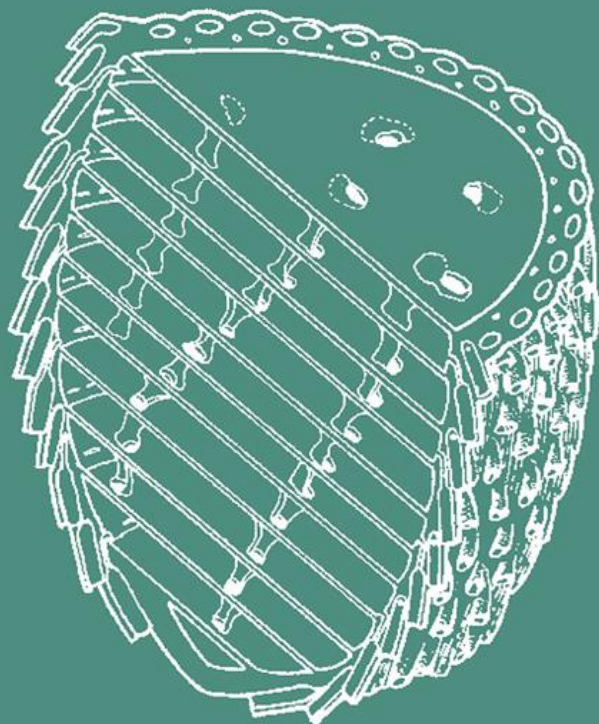
JUHANI PALLASMAA

*traduzione e cura
dell'edizione italiana di*
MATTEO ZABELLI

L'architettura degli animali

Animal Architecture

FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS



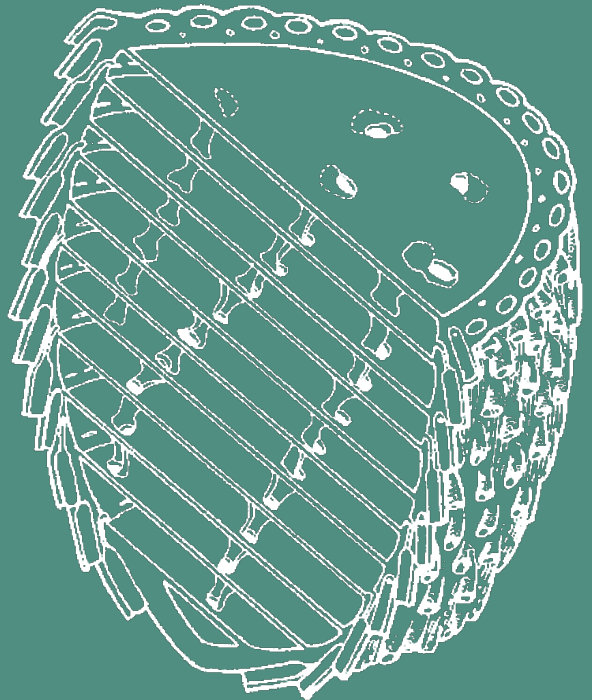
JUHANI PALLASMAA

*traduzione e cura
dell'edizione italiana di*
MATTEO ZAMBELLI

L'architettura degli animali

Animal Architecture

U
P
FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS



Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design

La Firenze University Press, in collaborazione con il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, promuove e sostiene la collana *Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design*. Questa iniziativa si propone di offrire un contributo alla ricerca nazionale e internazionale sul progetto in tutte le sue dimensioni, teoriche e pratiche. I volumi delle collane sono valutati secondo le migliori policy editoriali internazionali e raccoglie i risultati delle ricerche di studiosi dell'Università di Firenze e di altre istituzioni nazionali e internazionali. *Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design* supporta pienamente la pubblicazione ad accesso aperto come strumento ideale per condividere idee e conoscenze in ogni campo di ricerca con un approccio aperto, collaborativo e senza scopo di lucro. Le monografie e i volumi miscellanei ad accesso aperto consentono alla comunità scientifica di ottenere un elevato impatto nella ricerca, nonché una rapida diffusione.

ricerche | architettura, pianificazione, paesaggio, design

Editor-in-Chief

Saverio Mecca | University of Florence, Italy

Scientific Board

Gianpiero Alfarano | University of Florence, Italy; **Mario Bevilacqua** | University of Florence, Italy; **Daniela Bosia** | Politecnico di Torino, Italy; **Susanna Caccia Gherardini** | University of Florence, Italy; **Maria De Santis** | University of Florence, Italy; **Letizia Dipasquale** | University of Florence, Italy; **Giulio Giovannoni** | University of Florence, Italy; **Lamia Hadda** | University of Florence, Italy; **Anna Lambertini** | University of Florence, Italy; **Tomaso Monestiroli** | Politecnico di Milano, Italy; **Francesca Mugnai** | University of Florence, Italy; **Paola Puma** | University of Florence, Italy; **Ombretta Romice** | University of Strathclyde, United Kingdom; **Luisa Rovero** | University of Florence, Italy; **Marco Tanganelli** | University of Florence, Italy

International Scientific Board

Nicola Braghieri | EPFL - Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, Switzerland; **Lucina Caravaggi** | University of Rome La Sapienza, Italy; **Federico Cinquepalmi** | ISPRA, The Italian Institute for Environmental Protection and Research, Italy; **Margaret Crawford**, University of California Berkeley, United States; **Maria Grazia D'Amelio** | University of Rome Tor Vergata, Italy; **Francesco Saverio Fera** | University of Bologna, Italy; **Carlo Francini** | Comune di Firenze, Italy; **Sebastian Garcia Garrido** | University of Malaga, Spain; **Xiaoning Hua** | Nanjing University, China; **Medina Lasansky** | Cornell University, United States; **Jesus Leache** | University of Zaragoza, Spain; **Heater Hyde Minor** | University of Notre Dame, France; **Danilo Palazzo** | University of Cincinnati, United States; **Pablo Rodríguez Navarro** | Universitat Politècnica de València, Spain; **Silvia Ross** | University College Cork, Ireland; **Monica Rossi** | Leipzig University of Applied Sciences, Germany; **Jolanta Sroczynska** | Cracow University of Technology, Poland

JUHANI PALLASMAA

*traduzione e cura
dell'edizione italiana di*
MATTEO ZAMBELLI

**L'architettura
degli animali**
Animal Architecture

Firenze University Press
2021



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

L'architettura degli animali : animal architecture / Juhani Pallasmaa;
traduzione e cura dell'edizione italiana di Matteo Zambelli. – Firenze :
Firenze University Press, 2021.
(Ricerche. Architettura, Pianificazione, Paesaggio, Design ; 12)

<https://www.fupress.com/isbn/9788855184434>

ISBN 978-88-5518-442-7 (Print)
ISBN 978-88-5518-443-4 (PDF)
ISBN 978-88-5518-444-1 (XML)
DOI 10.36253/978-88-5518-443-4

cover / copertina

Section through the nest of *Apicotermes lamani termites*. Drawing by Michael H. Hansell

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

All publications are submitted to an external refereeing process under the responsibility of the FUP Editorial Board and the Scientific Boards of the series. The works published are evaluated and approved by the Editorial Board of the publishing house, and must be compliant with the Peer review policy, the Open Access, Copyright and Licensing policy and the Publication Ethics and Complaint policy.

Firenze University Press Editorial Board

M. Garzaniti (Editor-in-Chief), M.E. Alberti, F. Vittorio Arrigoni, E. Castellani, F. Ciampi, D. D'Andrea, A. Dolfi, R. Ferrise, A. Lambertini, R. Lanfredini, D. Lippi, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, A. Orlandi, I. Palchetti, A. Perulli, G. Pratesi, S. Scaramuzzi, I. Stolzi.

🔓 The online digital edition is published in Open Access on www.fupress.com.

Content license: except where otherwise noted, the present work released under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>). This license allows you to share the work by any means and format, as long as appropriate credit is given to the author, the work is not modified or used for commercial purposes and a URL link is provided to the license.

Metadata license: all the metadata are released under the Public Domain Dedication license (CC0 1.0 Universal: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode>).

Le immagini utilizzate rispondono alla pratica del *fair use* (Copyright Act, 17 U.S.C., 107) essendo finalizzate al commento storico critico e all'insegnamento.

© 1995 Juhani Pallasmaa
© 2021 Juhani Pallasmaa
© 2021 Italian edition and translation Matteo Zambelli
Published by Firenze University Press
Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy
www.fupress.com

*This book is printed on acid-free paper
Printed in Italy*

First published by Museum of Finnish Architecture with the title *Elainten arkkitehtuuri / Animal Architecture*, Helsinki, 1995.

graphic design / progetto grafico

didacommunicationlab

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

Susanna Cerri
Federica Giulivo
Federica Aglietti

Stampato su carta di pura
cellulosa Fedrigoni Arcoset



Prefaces Prefazioni	9
Preface to the Italian edition Prefazione all'edizione italiana	10 11
Original Preface: A childhood fascination Prefazione originale: Una fascinazione fanciullesca	20 21
Animal builders Animali costruttori	42 43
The variety of animal constructions La varietà delle costruzioni animali	44 45
The significance of architecture Il significato dell'architettura	44 45
The scale and precision of animal constructions La scala e la precisione delle costruzioni animali	46 47
Animal master-builders Animali mastri costruttori	46 55
Similarities of solutions Soluzioni simili	54 55
Animal use of tools L'impiego di utensili da parte degli animali	56 57
Animal inventors Animali inventori	60 71
Animals as architecture Animali come architettura	70 73
Ready-made shelters Rifugi pronti all'uso	72 75
Functions of animal constructions Funzioni delle costruzioni animali	74 83
Methods of construction Metodi di costruzione	138 139
Structural considerations Considerazioni strutturali	170 173
Animal landscape architecture Architettura del paesaggio animale	172 175
Economic and ecological considerations Considerazioni economiche ed ecologiche	178 179
The lesson of animal architecture La lezione dell'architettura animale	190 191
Bibliography Bibliografia	202
Credits Crediti	204

Prefaces
Prefazioni

PREFACE TO THE ITALIAN EDITION

Juhani Pallasmaa

As the writer of this book is an architect by education and professional career, the reader may wonder why someone working in the design of urban spaces, buildings, exhibitions and objects has developed an interest for a fundamentally biological subject. My interest in animal constructions were initiated in my early childhood during the war years of 1939-45 in Finland. During this troubling time, I was living with my mother in the humble farmhouse of my maternal grandfather in Central Finland away from the immediate threats of the war. There were no other children within the distance of couple of kilometres of forests and occasional farmland, except my two younger sisters. The days felt endless and solitary for me, and I often spent hours on end by myself observing activities of wild animals, such as rodents, bats, birds, fishes and various insects. To my wonderment, these animals were often building nests or other structures, as the capture nets built by spiders. Through the natural knot holes in the logs and timber boards of barns and attics, I could watch at a very close distance house martins and swallows building their clay nests outside. I saw how swallows brought lumps of wet clay in their peaks from a nearby clay pond, and before placing the clay on the edge of their construction, they shook their heads forcefully. Twelve years later, when I was working as a schoolboy on a construction site in Helsinki I saw the use of a concrete vibrator and I realised that the swallows were shaking their heads for the very same purpose; to eliminate air from the wet clay in order to make the construction stronger. I could also observe wasps constructing their splendid spherical nests of a material that looked like paper, and every now and then, the harvesting of crops would reveal a cosy, suspended grass nest of a field mouse.

I was especially fascinated by little constructions of the size of my child's thumb, made of small grains of stone or plant materials, moving slowly on the bottom of the nearby river; sometimes they looked like miniaturized log cabins. During my childhood I never found out what these mobile miniature constructions were; the only book in the farmhouse was the Bible. Thirty-five years later, in 1976, I spotted a newly published book with the title *Animal Architecture*¹ by the

¹ Karl von Frisch, *Animal Architecture*, Harcourt Inc., San Diego, California, 1974.

Juhani Pallasmaa

Dato che l'autore di questo libro è un architetto per formazione e per carriera professionale, il lettore potrebbe chiedersi perché una persona che lavora nella progettazione di spazi urbani, edifici, mostre e oggetti abbia sviluppato un interesse per un argomento fondamentalmente biologico. La mia curiosità per le costruzioni animali ha avuto origine in Finlandia, negli anni dell'infanzia, durante la seconda guerra mondiale (1939-45). In quel periodo travagliato vivevo con mamma nell'umile casa di campagna di mio nonno materno nella Finlandia Centrale, lontano dalle minacce immediate del conflitto bellico. Non c'erano altri bambini nel raggio di un paio di chilometri coperti di foreste, eccezion fatta per qualche terreno agricolo occasionale, tranne le mie due sorelle minori. Le giornate mi sembravano interminabili e solitarie, e spesso passavo ore intere da solo a osservare le attività degli animali selvatici, come roditori, pipistrelli, uccelli, pesci e insetti vari. Con mia meraviglia, questi animali stavano spesso costruendo nidi o altre strutture, come le tele intessute dai ragni per catturare le prede. Attraverso i fori dei nodi dei tronchi e delle assi di legno dei fienili e delle soffitte potevo scrutare da molto vicino i balestrucci e le rondini intenti a costruire i loro nidi d'argilla. Ho visto come le rondini trasportavano nei becchi grumi di argilla bagnata da un vicino stagno limaccioso e come scuotevano vigorosamente la testa prima di posare l'argilla sul bordo della loro costruzione. Dodici anni dopo, quando da studente lavoravo in un cantiere a Helsinki, ho visto un vibratore per calcestruzzo in azione e mi sono reso conto che le rondini scrollavano la testa per la stessa ragione: eliminare l'aria dall'argilla bagnata per rendere la costruzione più solida. Potevo anche osservare le vespe mentre realizzavano i loro splendidi nidi sferici di un materiale che sembrava carta, e, di tanto in tanto, dopo il raccolto, veniva alla luce il nido di un topolino delle risaie composto di ramoscelli d'erba, so-speso e accogliente.

Da bambino ero particolarmente affascinato dalle piccole costruzioni della grandezza del mio pollice, realizzate con minuscoli granelli di pietra o con materiali vegetali, che fluttuavano placidamente sul fondale del vicino fiume: a volte sembravano capanne di legno miniaturizzate. Durante la mia infanzia non ho mai scoperto cosa fossero tali costruzioni mobili in miniatura, perché l'unico libro nella casa della fattoria era la Bibbia. Trentacinque anni dopo, nel 1976,

1973 Nobel Laureate in ethology, Dr Karl von Frisch, in a book shop in New York¹, which made me vividly recall my childhood. I was so fascinated by the subject, that I read the entire book standing between the bookshelves before purchasing it. Only then did I find out that the stone grain and straw structures moving slowly in the river were sophisticated casings of caddis-fly (*Trichoptera*) larvae. I also read that American Indians are assumed to have learned the art of making clay jars studying the nesting chambers of potter wasps (*Eumenes*), and that 2000 years ago wasps taught the Chinese to make paper.

Altogether, the book evoked vividly my childhood memories of animal constructions at my grandfather's farm, and I immediately decided to compile an exhibition on this fascinating but little-known subject at the Museum of Finnish Architecture in Helsinki, where I was working as the Director of Exhibitions. I wrote a letter to Dr von Frisch and suggested conceiving the exhibition in collaboration. After ten days I received a cordial letter from the famous scientist's secretary with the information that he was already 91 years old and did not have the energy any more to participate in my project. But he wished me luck and gave me the permission to use freely all the information in his book.

Due to my engagement in architectural projects, the exhibition project took nearly nine years of research, planning and compiling the exhibits and other materials, some of them flown all the way from West Africa. I received expert help from Dr Michael Hansell of Glasgow University, who is one of the rare experts in this subject². Towards the end of the project I also collaborated with a team of Finnish biologists, including a lepidopterist, myrmecologist, ornithologist, an expert on bumble bees and wasps, and yet one on beavers and their dam constructions. The fact that the exhibition was presented in an architecture museum, instead of a museum of zoology, strengthened the architectural, technical and aesthetic viewpoints on these non-human constructions. It also facilitated the understanding of animal constructions as alternative concepts of functionality, materials and techniques of construction, ecological response and beauty. A special attraction in the exhibition was that there were a dozen live architect species (bees, ants, ant lions, fishes, crabs and rodents) that were busy in their construction work during the four months that the exhibition was open. The bee community could fly from their terrarium to a nearby park through an acrylic tube leading out from one of the windows of the museum to collect pollen, nectar and water. The floor of the Museum was covered by ten centimetres of fine sand in order to distance the exhibition experience from a usual museum visit.

Since the exhibition in 1995, I have casually continued my studies in animal architecture and have been especially interested in the role of the enormous time dimension in processes of

² Michael H. Hansell, *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman, London and New York, 1984.

notai in una libreria di New York un testo appena pubblicato dal titolo *L'architettura degli animali* del premio Nobel per l'etologia del 1973, il dottor Karl von Frisch¹, che mi fece ricordare vividamente la mia infanzia. Ero talmente affascinato dall'argomento che, prima di acquistarlo, in piedi tra gli scaffali, lessi l'intero libro. Solo allora scoprii che le strutture di pietra, di grano e paglia che dondolavano placidamente nel fiume erano i sofisticati involucri delle larve dei tricoteri (*Trichoptera*). Ho anche letto che si presume che gli indiani d'America abbiano appreso l'arte di realizzare vasi d'argilla studiando le camere di nidificazione delle vespe vasaie (*Eumenes*), e che duemila anni fa le vespe insegnarono ai cinesi come fare la carta.

Nell'insieme, il libro evocava nitidamente i miei ricordi d'infanzia delle costruzioni animali nella fattoria del nonno; decisi quindi di allestire un'esposizione su tale argomento affascinante, ma poco conosciuto, al Museo di Architettura Finlandese di Helsinki, dove ricoprivo la carica di direttore delle mostre. Scrisi una lettera al dottor von Frisch e gli proposi di concepire la mostra in collaborazione. Dopo dieci giorni ricevetti una lettera cordiale dalla segretaria del famoso scienziato con l'informazione che lo zoologo aveva già novantun anni e non aveva più l'energia per prendere parte al progetto, ma mi augurò il meglio e mi concesse il permesso di utilizzare liberamente tutte le informazioni contenute nel suo libro.

A causa dei miei impegni nei progetti di architettura, lo sviluppo della mostra richiese quasi nove anni di ricerca, pianificazione e compilazione dei prodotti da esporre e di altri materiali, alcuni dei quali sono arrivati in aereo dall'Africa Occidentale. Ricevetti l'aiuto competente del dottor Michael Hansell dell'Università di Glasgow, che è uno dei rari esperti in materia². Verso la fine del progetto collaborai anche con un gruppo di biologi finlandesi, tra cui un lepidotterista, un mirmecologo, un ornitologo, un esperto di bombi e vespe, e pure con un esperto di castori e dei loro modi di costruire le dighe. Il fatto che la mostra fosse stata allestita in un museo di architettura, invece che in uno di zoologia, conferì maggior risalto ai punti di vista architettonici, tecnici ed estetici su queste costruzioni che non erano frutto dell'opera dell'uomo. Facilitò anche la comprensione delle costruzioni animali come espressione di concetti alternativi di funzionalità, di impiego di materiali e tecniche costruttive, di risposta ecologica e di bellezza. Un'attrazione speciale della mostra fu la presenza di una dozzina di specie di architetti viventi – api, formiche, formicheleoni, pesci, granchi e roditori – intenti nel proprio lavoro di costruzione durante i quattro mesi in cui la mostra rimase aperta al pubblico. La comunità di api poteva volare dal proprio terrario a un parco vicino per raccogliere nettare, polline e acqua passando attraverso un tubo di acrilico che fuoriusciva da una delle finestre. Il pavimento dell'installazione fu ricoperto con

¹ Karl von Frisch, *L'architettura degli animali*, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1975.

² Michael H. Hansell, *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman, London and New York, 1984.

natural evolution, the complexities of instinctual behaviour and the role of “aesthetic” choice in evolution.

The greatest advantage that animal constructions have in comparison with human structures is their enormous age; spider weaving techniques have developed during a period of nearly 400 million years, while the oldest human house constructions are only 600 thousand years old. The development of animal constructions has all this time been subject to the merciless forces of selection through evolution. On the contrary, human constructions have largely been detached from evolutionary processes and developed under changing and frequently arbitrary cultural preferences, instead of ecological realities.

Aesthetic choice has been limited to humans, but it has become evident that aesthetic judgement has its role in the animal world as well. The subject of aesthetic choice has been recently actualized by Richard O. Prum's fascinating book *The Evolution of Beauty*³, which re-examines Charles Darwin's controversial second book *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*⁴ (1871), on the principles of evolution; the second book was silenced in the Victorian age. In this later book Darwin suggests that the selective mechanisms he presented in the celebrated study *On the Origin of Species* (1859)⁵ do not explain all the variations in animal species (he was himself obsessively concerned with the peacock's totally “unfunctional” tail), and need to be completed by a second process, that of autonomous aesthetic selection, practiced primarily by the female sex. Prum gives nearly unbelievable examples of the aesthetic choice. Male Blue Manakins (*Chiroxiphia caudata*) practice group performances of singing and dancing in order to attract a female to mate with the *alpha* male of the group. In addition to building huge decorated constructions for the sole purpose of impressing a female, Great Bowerbird males (*Clamyderya nuchalis*) use reversed perspective in the regulated lay-out of the colourful decorations in front of their constructions. The suggestion that animals practice a selective system, which can be related to aesthetic choice, may still sound unbelievable. However, recent mathematical modelling has proved that Darwin's two theories together explain all the immense variety in animal species – including the biological logic of the peacock's tail.

The lacking interest in our time in the enormously varied and fascinating world of animal constructions is quite surprising, considering what the French barber and early surgeon Ambroise Paré (1510-1590) wrote already in the Renaissance era: “The enterprise and skill with which animals make their nests is so efficient that it is not possible to do better, so entirely do they surpass

³ Richard O. Prum, *The Evolution of Beauty: How Darwin's Forgotten Theory of Mate Choice Shapes the Animal World – and Us*, Anchor Books, New York 2018.

⁴ Charles Darwin, *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, John Murray, London, 1871.

⁵ Id., *On the Origin of Species*, John Murray, London, 1859.

dieci centimetri di sabbia a grana fine per differenziare l'esperienza della mostra da una normale visita al museo.

Dalla mostra del 1995 ho coltivato estemporaneamente i miei studi sull'architettura animale e mi sono interessato soprattutto al ruolo dell'enorme dimensione temporale nei processi evolutivi naturali, alle complessità del comportamento istintuale e al ruolo della scelta "estetica" nell'evoluzione.

Il più grande vantaggio delle costruzioni animali rispetto a quelle umane è la loro età eccezionale; le tecniche di tessitura dei ragni si sono sviluppate durante un periodo di quasi quattrocento milioni di anni, mentre le più antiche costruzioni di abitazioni umane risalgono solamente a seicentomila anni di fa. Lo sviluppo delle costruzioni animali è stato soggetto per tutto questo lasso di tempo alle forze spietate della selezione attraverso l'evoluzione. Al contrario, le costruzioni dell'uomo sono state in gran parte indipendenti dai processi evolutivi e si sono sviluppate seguendo le preferenze culturali mutevoli e spesso arbitrarie, invece di fondarsi su realtà ecologiche.

La capacità di scelta estetica è stata circoscritta esclusivamente agli esseri umani, ma è risultato evidente che il giudizio estetico svolge il suo ruolo anche nel mondo animale. La questione della scelta estetica è stata di recente riportata in auge dall'affascinante libro di Richard O. Prum *L'evoluzione della bellezza*³, nel quale l'autore riesamina il controverso secondo libro di Charles Darwin *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*⁴ (1871), dedicato ai principi dell'evoluzione, a cui fu messa la sordina in epoca vittoriana. In quest'ultimo libro Darwin suggerisce che i meccanismi selettivi da lui presentati nel celebre studio *Sull'origine delle specie*⁵ (1859) non spiegano tutte le variazioni delle specie animali (egli stesso era ossessivamente interessato alla coda totalmente "non funzionale" del pavone) e devono essere completati da un secondo processo, quello della selezione estetica autonoma, praticata principalmente dalle femmine. Prum fornisce esempi davvero incredibili di scelte estetiche. I maschi di manachino blu (*Chiroxiphia caudata*) si esibiscono in canti e danze di gruppo per attirare una femmina in modo che si accoppi con il maschio *alfa* del gruppo. Oltre a realizzare enormi costruzioni decorate con l'unico scopo di impressionare una femmina, i maschi dell'uccello giardiniere maggiore (*Clamyderyx nuchalis*) ricorrono alla prospettiva forzata nella disposizione regolare delle decorazioni colorate poste davanti alle loro strutture. La suggestione che gli animali praticino un sistema selettivo, da collegarsi a una scelta estetica, potrebbe ancora sembrare incredibile. Tuttavia, recenti modellizzazioni matematiche hanno dimostrato che le due teorie di Darwin spiegano insieme tutta

³ Richard O. Prum, *L'evoluzione della bellezza*, Adelphi, Milano, 2020.

⁴ Charles Darwin, *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, Newton Compton, Roma, 2011.

⁵ Id., *L'origine delle specie*, Bollati Boringhieri, Torino, 2011.

all masons, carpenters and builders; for there is not a man who would be able to make a house better suited to himself and to his children than these little animals build for themselves. This is so true, in fact, that we have a proverb according to which men can do everything except build a bird's nest"⁶.

During the past few decades, new approaches, such as Bionics, Biomimicry and Biophilia, "the science and ethics of life" promoted by the authoritative myrmecologist and spokesman of biophilic ethics, Edward O. Wilson, have initiated a new interest in the functional and technical complexities and perfections in the biological world.

We still think that the recognition of "beauty" is a solely human quality. However, "The purpose of evolution, believe it or not, is beauty", Joseph Brodsky⁷, the Nobel Laureate poet (1987), writes with the conviction of a master poet. This sounds like a polemical exclamation, but in the light of recent studies in the biological origins of beauty, we may well be facing new dimensions to aesthetics and its biological and evolutionary role. The intricacies of beauty and aesthetic choice in the biological world could well be the subject matter for another exhibition.

17 January 2021

⁶ Ambroise Paré, "Le livre des animaux et de l'intelligence de l'homme", *Oeuvres complètes*, édition J.F. Malgaigne, vol. III, p. 740

⁷ Joseph Brodsky, "An Immodest Proposal", *On Grief and Reason*, Farrar, Straus and Giroux, New York, 1997.

l'immensa varietà delle specie animali, compreso il significato biologico della coda del pavone. L'attuale mancanza di interesse per il mondo enormemente vario e affascinante delle costruzioni animali è piuttosto sorprendente, considerando quanto il barbiere e primo chirurgo francese Ambroise Paré (1510-1590) già in epoca rinascimentale scriveva: "L'impresa e l'abilità con cui gli animali realizzano i propri nidi è così efficiente che non è possibile fare di meglio, così superano ampiamente tutti i muratori, carpentieri e costruttori; perché non c'è uomo che sarebbe in grado di fare una casa più adatta a se stesso e ai propri figli di quella che questi piccoli animali costruiscono per sé stessi; il tutto è talmente vero che, non per niente, abbiamo un proverbio secondo il quale gli uomini sono capaci di fare qualsiasi cosa tranne costruire un nido di uccello"⁶. Negli ultimi decenni, nuovi approcci, come la bionica, la biomimetica e la biofilia, "la scienza e l'etica della vita" promossa dall'autorevole mirmecologo e portavoce dell'etica biofilica, Edward O. Wilson, hanno dato vita a un nuovo interesse per le complessità e le perfezioni funzionali e tecniche del mondo biologico.

Pensiamo ancora che il riconoscimento della "bellezza" sia una qualità esclusivamente umana. Tuttavia, con la convinzione di un maestro della poesia, "Il fine dell'evoluzione – ci crediate o no – è la bellezza" scrive Iosif Brodskij⁷, il poeta premio Nobel per la letteratura (1987). Parrebbe un'affermazione polemica, ma, alla luce dei recenti studi sulle origini biologiche della bellezza, potremmo trovarci di fronte a nuove dimensioni dell'estetica e del suo ruolo biologico ed evolutivo. Le complessità della bellezza e delle scelte estetiche nel mondo biologico potrebbero essere oggetto di un'altra mostra.

17 gennaio 2021

⁶ Ambroise Paré, "Le livre des animaux et de l'intelligence de l'homme", *Oeuvres complètes*, édition J.F. Malgaigne, vol. III, p. 740.

⁷ Iosif Brodskij, "Un'immodesta proposta", in *Dolore e ragione*, Adelphi, Milano, 1998, p. 43.





1. The sociable weaverbirds (*Philetairus socius*) build immense collective nests, which are used by several generations. Flight holes are visible on the underside of the nest.

I passeri repubblicani (*Philetairus socius*) costruiscono immensi nidi collettivi, che vengono utilizzati per diverse generazioni. Sul lato inferiore del nido sono visibili le aperture per il volo.

2. Village weaver (*Ploceus cucullatus*).
Tessitore gendarme (*Ploceus cucullatus*).

ORIGINAL PREFACE

A CHILDHOOD FASCINATION

Juhani Pallasmaa

As a young boy, I was intrigued by the construction activities of animals. My grandfather's farm buildings in Central Finland offered possibilities for close observation of the nest building of house martins and swallows; I watched how the birds brought lumps of clay from a nearby mud pond and gradually moulded this shapeless material into their beautiful mud house, cantilevered underneath the cornice. In a barn house I could observe how wasps produced their layered spherical nests, which appeared to be made of paper, and harvesting often revealed touchingly neat woven nests of field mice. And I remember marvelling at spiders' webs, trying to understand how the tiny animals conceived their apparently perfect structural geometry. In the river nearby, I found strange miniature constructions assembled from grains of sand and sections of plants: structures that looked like tiny houses, moving mysteriously along the river bottom.

Altogether, a lot of diligent and elaborate construction seemed to take place in nature.

My early enthusiasm for animal architecture ceased for 35 years, until I found a newly published book entitled *Animal Architecture* by the Nobel laureate Karl von Frisch in a New York book shop in 1976. I was fascinated by the book and the world it reopened for me. I learned that the tiny constructions moving on the river bottom in my childhood were the sophisticated constructions of caddis-fly larvae. Their masonry work equals the achievements of the best human stone masons, and they also create modular panel constructions of precision cut plant leaves that bring to mind our own principles of modular construction. I also read that, 2,000 years ago, wasps taught the Chinese how to make paper.

Similarly, the nesting chambers of potter wasps are believed to have served as models for clay jars for the American Indians. I learned further that spiders and their net construction techniques have evolved during hundreds of millions of years (fossil spiders have been dated at 395 million years old). Ants tending aphids have been found preserved in amber since early Tertiary period, forty million years ago. In comparison, it is a modest one and a half million years since *Homo erectus* rose up on his two feet.

I was struck by the fact that there were animal architects tens of millions of years before *Homo sapiens* made his first, clumsy attempts at construction. Animal constructions may surpass our

PREFAZIONE ORIGINALE

UNA FASCINAZIONE FANCIULLESCA

Juhani Pallasmaa

Da bambino ero affascinato dalle attività di costruzione degli animali. Gli edifici della fattoria di mio nonno, nella Finlandia Centrale, mi davano la possibilità di osservare da vicino la costruzione dei nidi dei balestrucci e delle rondini; scrutavo come gli uccelli trasportavano grumi di argilla da un vicino stagno limaccioso e come gradualmente plasmavano quel materiale informe nel loro meraviglioso nido di fango, realizzato a sbalzo sotto il cornicione. In un granaio potevo osservare come le vespe realizzavano a strati i loro nidi sferici, che sembravano fatti di carta, e spesso, dopo il raccolto, venivano alla luce le tane dei topi di campagna accuratamente intessute in modo commovente. E ricordo la mia meraviglia per le ragnatele, quando cercavo di capire come i piccoli animali concepissero la loro apparentemente perfetta geometria strutturale. Nel vicino fiume, sono incappato in strane costruzioni in miniatura assemblate con granelli di sabbia e materiali vegetali: strutture che sembravano piccole case, fluttuanti misteriosamente sul fondale del fiume.

Complessivamente in natura sembrava esserci una fervente attività costruttiva, accurata ed elaborata.

Il mio entusiasmo iniziale per l'architettura animale si interruppe per trentacinque anni, fino a quando nel 1976, in una libreria di New York, non trovai un libro appena pubblicato intitolato *L'architettura degli animali* del premio Nobel Karl von Frisch. Rimasi affascinato dal testo e dal mondo che mi si aprì di nuovo. Appresi che le minuscole costruzioni che fluttuavano sul fondale del fiume della mia infanzia erano le sofisticate costruzioni delle larve di tricottero. Le loro opere in muratura eguagliano le realizzazioni dei migliori scalpellini, e creano anche costruzioni composte da pannelli modulari di foglie di piante tagliate con una precisione tale da farci venire in mente i nostri principi di costruzione modulare. Ho anche letto che, duemila anni fa, le vespe insegnarono ai cinesi come fare la carta.

Allo stesso modo, si crede che le camere di nidificazione delle vespe vasaio siano servite agli indiani d'America come modello per i loro vasi d'argilla. Appresi anche che i ragni e le loro tecniche di costruzione delle ragnatele si sono evoluti durante centinaia di milioni di anni (ragni fossili sono stati datati a trecentonovantacinque milioni di anni fa). Le formiche che si occupano

achievements in their functionality, ecological adaptability, structural strength, efficiency of energy systems, economy and precision.

The automated ventilation and gas exchange systems of termites, for instance, are amazingly complex and ingenious. The standard cell thickness of the bee's honeycomb is produced with the staggering tolerance of 0.002 millimetres, which is far beyond the precision of human builders. Thus, in the early 18th century, the famous scientist René Antoine Ferchault de Réaumur even proposed that the bee cell be made the basic standard of measurement. Furthermore, I read that the tensile strength of spider thread is more than three times that of steel, and its extension at break is 229 per cent, as compared with the 8 per cent of steel.

Having read about these unexpected qualities of animal structures, I wanted to compile an exhibition of these architectural and technical marvels and wrote to von Frisch. Someone replied on his behalf that the famous scientist was already 91 years old and unable to collaborate in the exhibition project. During the years that have passed since my letter to the famed scholar, however, my fascination for the subject has continued.

Being a layman in the field of ethology, I have had to rely entirely on a number of books that describe building behaviour of various animal species. Some degree of building behaviour is practised throughout almost the entire animal kingdom. And since it is obvious that architectural constructions are just as essential for the survival of animal species as architecture is for our own existence and the development of our culture, it is surprising how little this subject has been studied. In museums of zoology, animal constructions are shown rather incidentally. The same observation can be made of the majority of animal books.

It is obvious that examples of animal artefacts and architecture should not be viewed as isolated objects detached from the behaviour patterns of their makers. Products of animal architecture often appear incredibly beautiful to our eyes, but 'aesthetics' is evidently a category of the human mind. The real beauty of animal architecture is its total integration into the life pattern of its builder, and to the dynamically balanced system of nature.

I have gathered views and facts about animal constructions mainly from two seminal books on the subject: Karl von Frisch's *Animal Architecture* (1974) presents remarkable constructions through the *phyla* with exciting illustrations, although from an architectural point of view the structure of the book appears somewhat sporadic.

Michael H. Hansell's book *Animal Architecture & Building Behaviour* (1984) analyses animal building behaviour scientifically in the framework of construction and, consequently, brings the matter close to the discipline of architecture.

degli afidi sono state trovate conservate nell'ambra dell'inizio del Terziario, quaranta milioni di anni fa. In confronto, è modesto il milione e mezzo di anni dacché l'*Homo erectus* si è alzato sui suoi due piedi.

Mi colpì il fatto che esistessero architetti animali decine di milioni di anni prima che l'*Homo sapiens* facesse i suoi primi, goffi tentativi di costruzione. Le costruzioni degli animali possono superare le nostre realizzazioni per funzionalità, adattabilità ecologica, resistenza strutturale, efficienza dei sistemi energetici, economia e precisione.

I sistemi automatizzati di ventilazione e di scambio di gas delle termiti, per esempio, sono incredibilmente complessi e ingegnosi. Lo spessore standard delle celle del favo delle api è realizzato con la sbalorditiva tolleranza di 0,002 millimetri, che va ben oltre la precisione dei costruttori umani. Così, all'inizio del XVIII secolo, il famoso scienziato René Antoine Ferchault de Réaumur propose addirittura di fare della cellula dell'ape lo standard di misurazione di base. Inoltre, lesi che la resistenza a trazione del filo del ragno è tre volte superiore a quella dell'acciaio, e che la sua estensione al punto di rottura è del duecentoventinove per cento, contro l'otto per cento dell'acciaio.

Avendo letto delle proprietà inaspettate delle strutture animali, decisi di realizzare una mostra dedicata a tali meraviglie architettoniche e tecniche, quindi scrissi a Karl von Frisch. Qualcuno rispose a suo nome che il famoso scienziato aveva già novantun anni e non poteva collaborare al progetto della mostra. Durante gli anni che passarono dalla mia lettera al famoso studioso, tuttavia, la mia fascinazione per l'argomento non era venuta meno.

Visto che ero un profano nel campo dell'etologia, ho dovuto basarmi in tutto e per tutto su una serie di libri che descrivono il comportamento costruttivo di varie specie animali. Un certo qual comportamento edilizio è praticato in quasi tutto il regno animale. E poiché è ovvio che le costruzioni architettoniche sono essenziali per la sopravvivenza delle specie animali tanto quanto l'architettura lo è per la nostra stessa esistenza e per il progredire della nostra cultura, è sorprendente quanto poco sia stato studiato un argomento del genere. Nei musei di zoologia, le costruzioni animali sono mostrate piuttosto incidentalmente. La stessa osservazione vale per la maggior parte dei libri sugli animali.

È ovvio che gli esempi di manufatti e architetture animali non devono essere presi come oggetti isolati e avulsi dai modelli comportamentali dei loro creatori. I prodotti dell'architettura animale appaiono spesso incredibilmente belli ai nostri occhi, ma l'"estetica" è evidentemente una categoria della mente umana. La vera bellezza dell'architettura animale è la sua totale integrazione con il modello di vita del suo costruttore e col sistema dinamicamente equilibrato della natura. Ho raccolto punti di vista e fatti sulle costruzioni animali principalmente da due libri

This exhibition could not have taken place without the inspiration and multitude of facts provided by these two books. The group of Finnish experts¹ has in many ways helped to shape both my essay and the exhibition.

Other sources have been indicated in the list of sources. Due to the great number of references, they have not been identified individually.

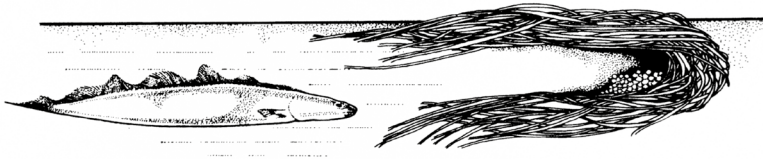
¹ Juhani Pallasmaa refers to the biologists who collaborated on the exhibition and its catalogue (translator's note).

fondamentali sull'argomento. *L'architettura degli animali* di Karl von Frisch (1974) presenta attraverso i *phyla* notevoli costruzioni corredate da illustrazioni straordinarie, anche se da un punto di vista architettonico la struttura del libro appare un po' lacunosa. Il libro di Michael H. Hansell *Animal Architecture & Building Behaviour* (1984) analizza scientificamente il comportamento edificatorio degli animali nel quadro della costruzione e, di conseguenza, avvicina la questione alla disciplina dell'architettura.

La mostra non avrebbe potuto esserci senza l'ispirazione e la moltitudine di informazioni fornite dai due libri citati. Il gruppo di esperti finlandesi¹ ha contribuito in molti modi a dare forma sia al mio saggio che alla mostra.

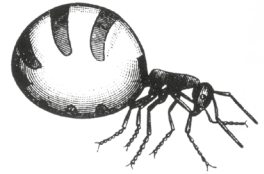
Altre fonti sono state indicate nell'apposita bibliografia. A causa del gran numero di riferimenti, non sono state identificate singolarmente.

¹ Juhani Pallasmaa si riferisce ai biologi che collaborarono alla realizzazione della mostra e al suo catalogo (N.d.T.).

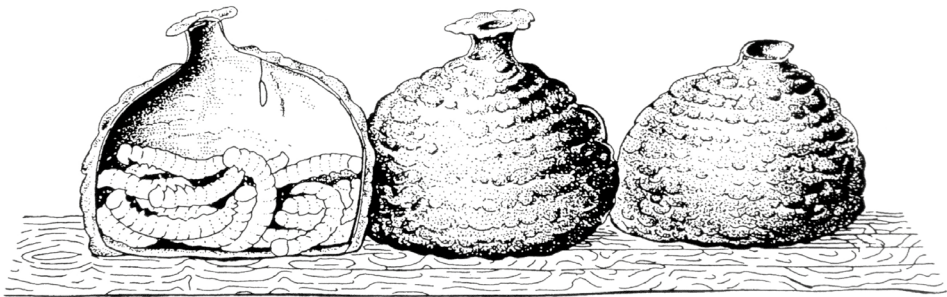


3. **The floating nest of the mormyrid species *Gymnarchus niloticus* made of vegetation.**

Il nido galleggiante del pesce africano (*Gymnarchus niloticus*) è realizzato con del materiale vegetale.

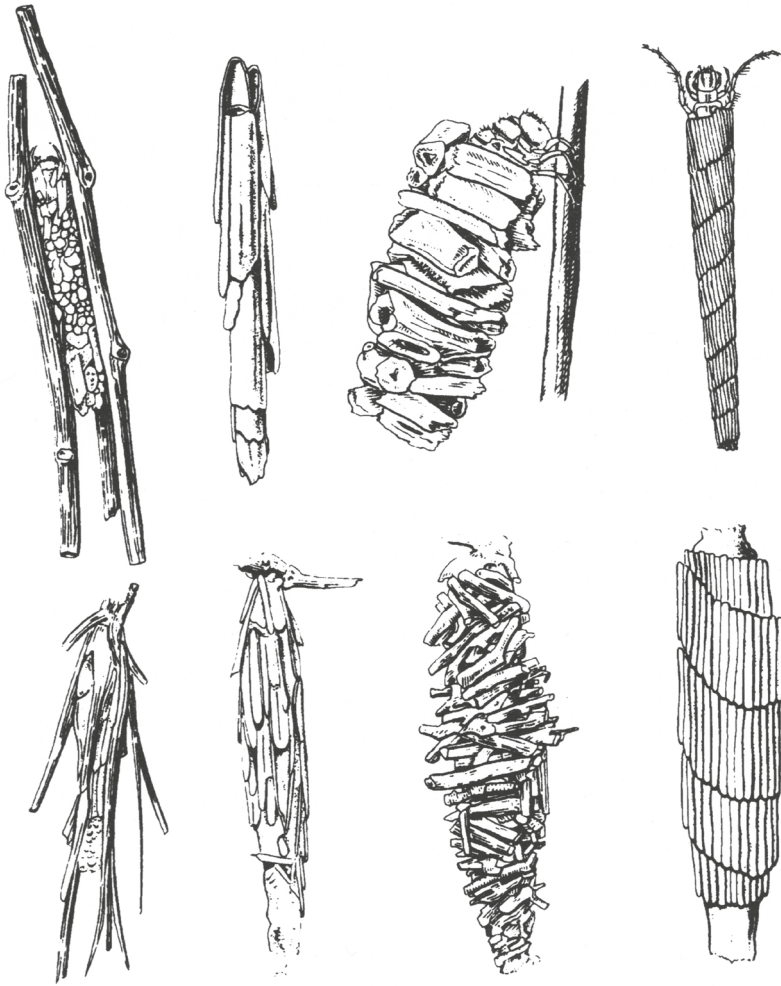


4. **A worker of the *Myrmecocystus* desert ant that has specialized as a living honey jar.**
Un'operaia della formica americana del deserto *Myrmecocystus* si è specializzata come barattolo di miele vivente.



5. **Pot-like cells of the potter wasp (*Eumenes*). The pots are filled with caterpillars as food for the offspring. The egg of the wasp is suspended from a thread. It has been suggested that American Indians learned the skill of making pots by watching potter wasps.**

Le celle simili a vasi della vespa vasaia (*Eumenes*). I nidi sono ricolmi di bruchi destinati a diventare cibo per la prole. L'uovo della vespa è appeso a un filo. Si ipotizza che gli indiani d'America abbiano appreso l'abilità nel fare vasi osservando queste vespe.



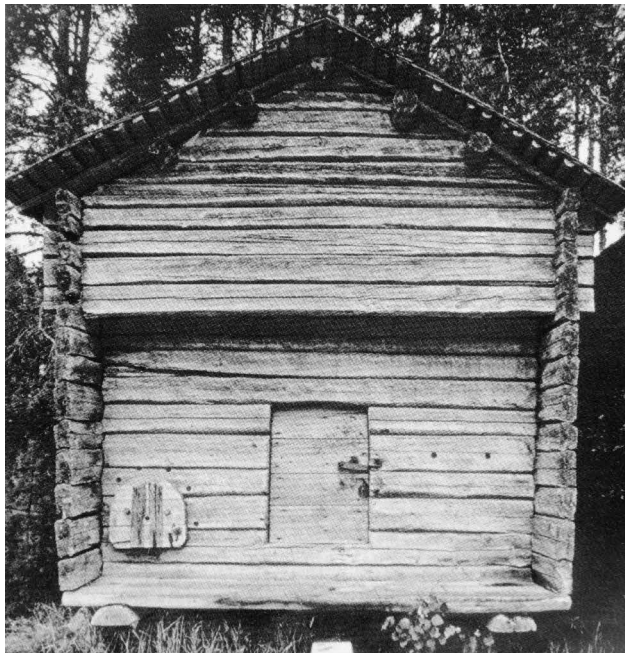
6.
Upper row: casings of caddis-fly larvae (*Trichoptera*).
Lower row: casings of caterpillars of bagworms (*Psychidae*).
 Fila superiore: involucri di larve di tricottero (*Trichoptera*).
 Fila inferiore: astucci dei bruchi degli psichidi (*Psychidae*).

7.
Workers of *Macrotermes* termite in full size.
 Operaie della termite *Macrotermes* a grandezza naturale.





8.
Casing of the caddis fly larva
(*Trichoptera*).
Involucro della larva della mosca
tricottero (*Trichoptera*).



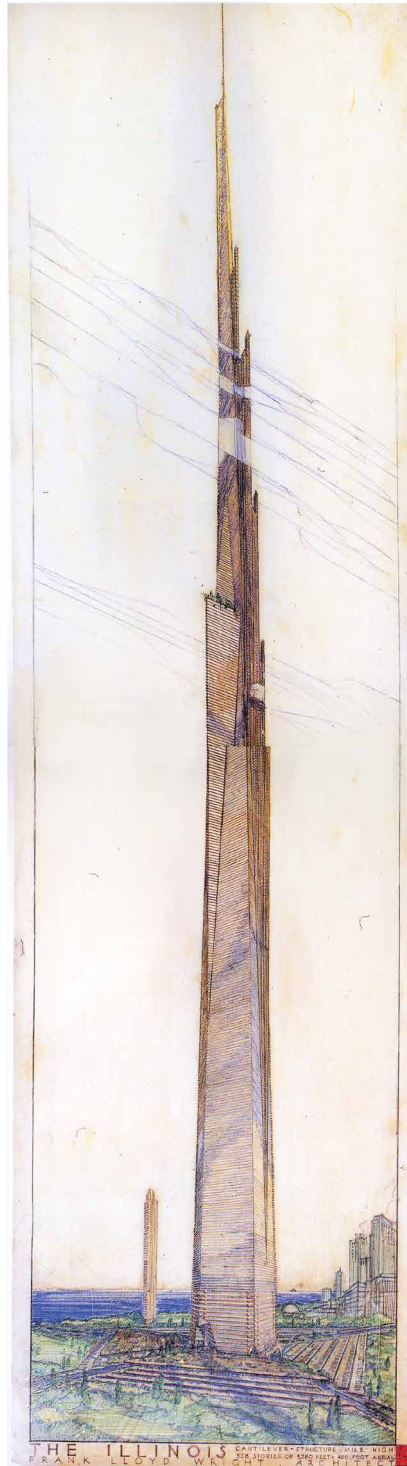
9.
Peasant storehouse.
Magazzino contadino.

10.
A nest of the harvest mouse
(*Micromys minutus*).
Un nido di topolino delle risaie
(*Micromys minutus*).





11.
A nest of an Australian termite species. If the nest were transposed to the scale of man, it would be almost two kilometres high.
Nido di una specie di termite australiana. Se il nido fosse rapportato alla scala dell'uomo, sarebbe alto quasi due chilometri.

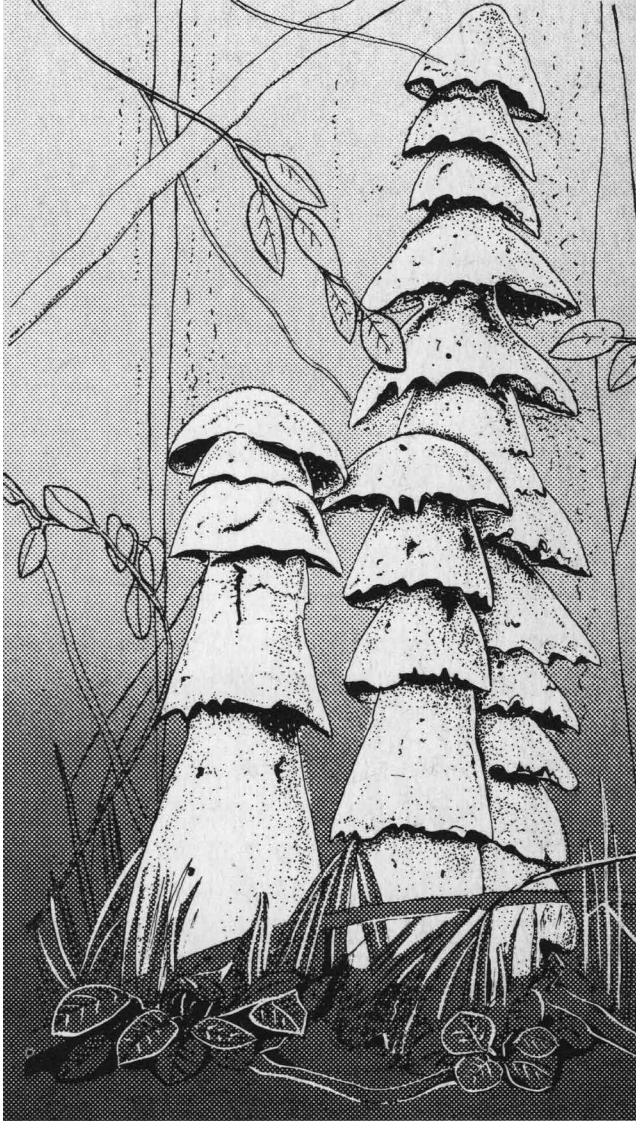


12.
Frank Lloyd Wright, The Mile High Illinois, Chicago, Illinois, project, 1956. One of the tallest architectural projects of man (one mile= 1609,3 metres). The tower is shown in the same scale as the adjacent termite nest.

Frank Lloyd Wright, Il grattacielo alto un miglio, Chicago, Illinois, progetto, 1956. Uno dei progetti di architettura più alti concepiti dall'uomo (un miglio corrisponde a 1609,3 metri). La torre è alla stessa scala dell'immagine del termitaio affianco.

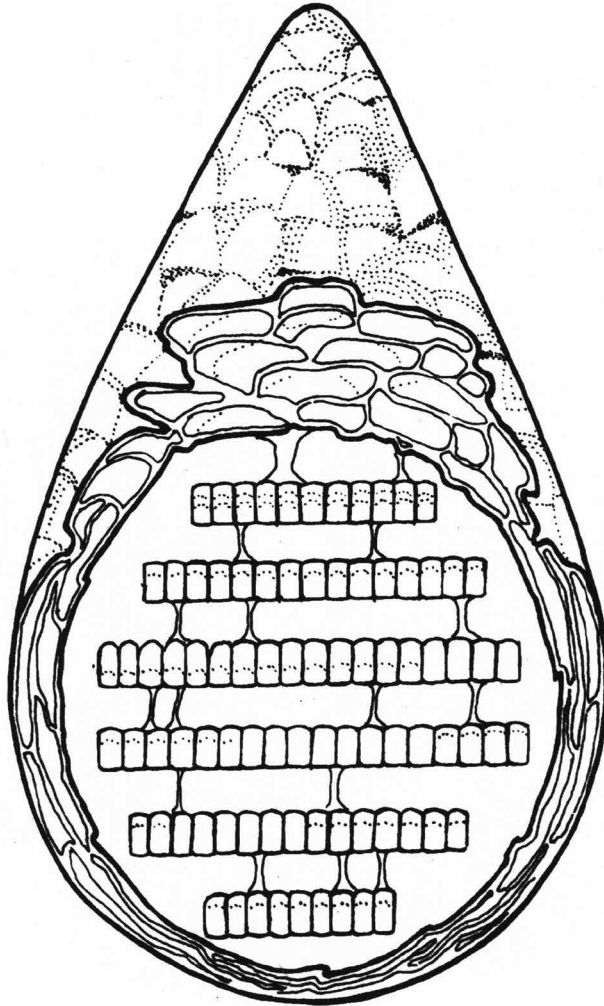


13.
Pagoda, Ying-hsien, China, 1056.
Pagoda, Ying-hsien, Cina, 1056.



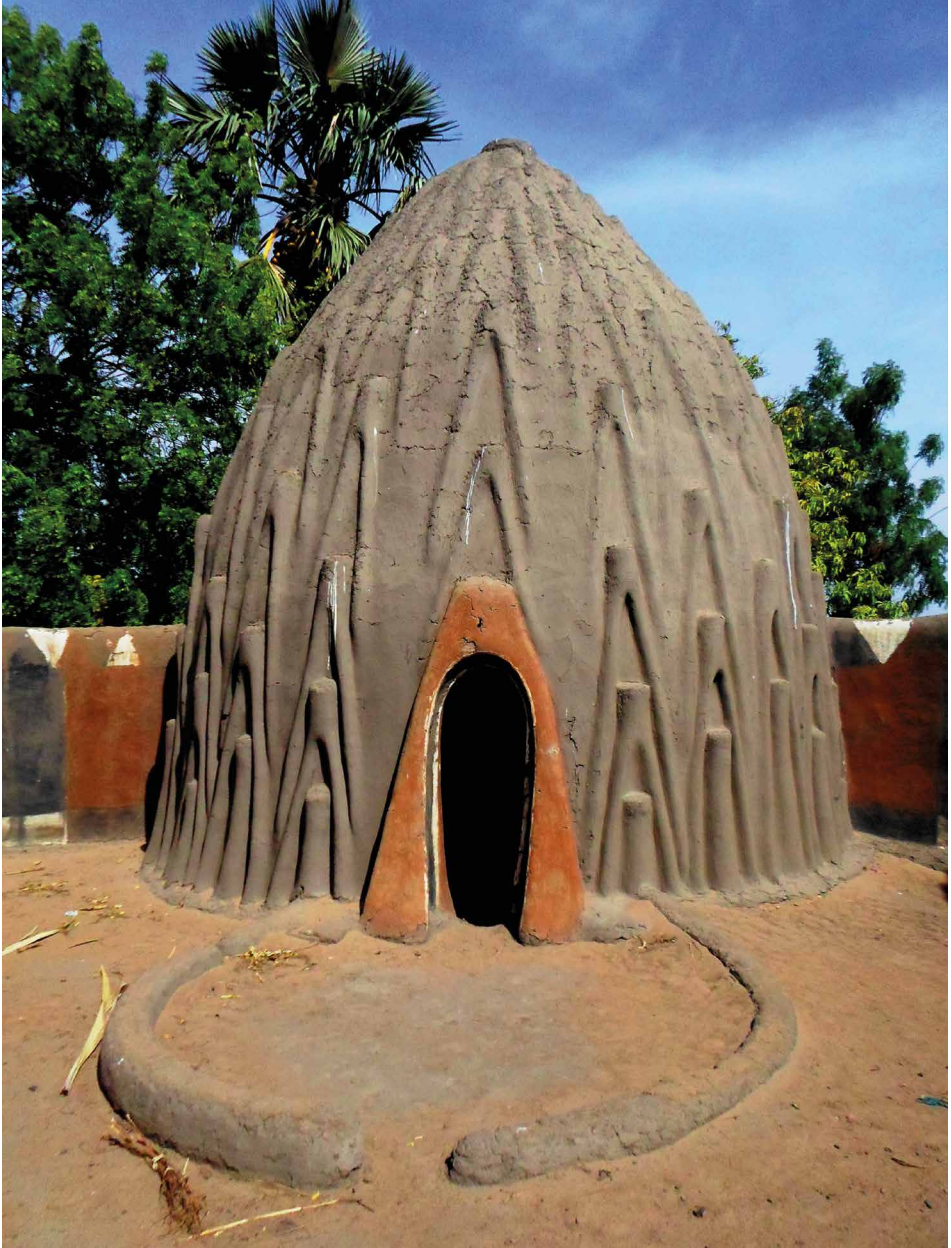
14.
Termite nests (*Cubitermes*) provided with layered roofs
against torrential tropical rains.

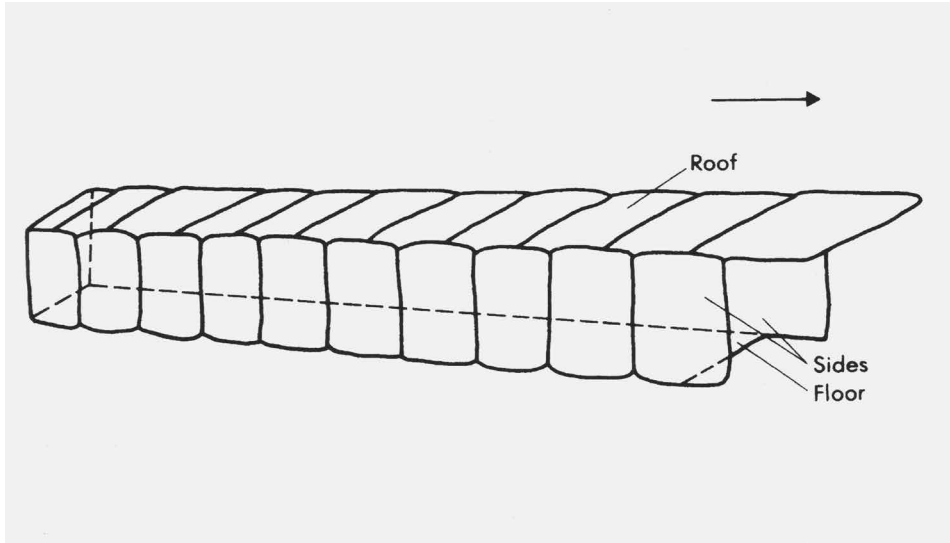
Il termitaio (*Cubitermes*) è dotato di tetti a strati a
protezione dalle piogge torrenziali dei tropici.



15.
 The conical shape of the tropical hornet *Vespa affinis* nest leads rainwater efficiently away from the nest.
 La forma conica del nido del calabrone tropicale *Vespa affinis* convoglia l'acqua piovana lontano dal nido in modo efficiente.

16.
 The clay house of the Mousgoum tribe in Chad.
 La casa d'argilla della tribù Mousgoum in Ciad.





17.
The house of *Lepidostoma hirtum* caddis-fly larva is assembled of panel elements precut from water plant leaves.
 Il nido della larva dei tricoteri *Lepidostoma hirtum* è assemblato con pannelli pretagliati ricavati da foglie di piante acquatiche.

18.
Traditional Japanese panel construction, Kyoto.
 Costruzione tradizionale giapponese a pannelli, Kyoto.

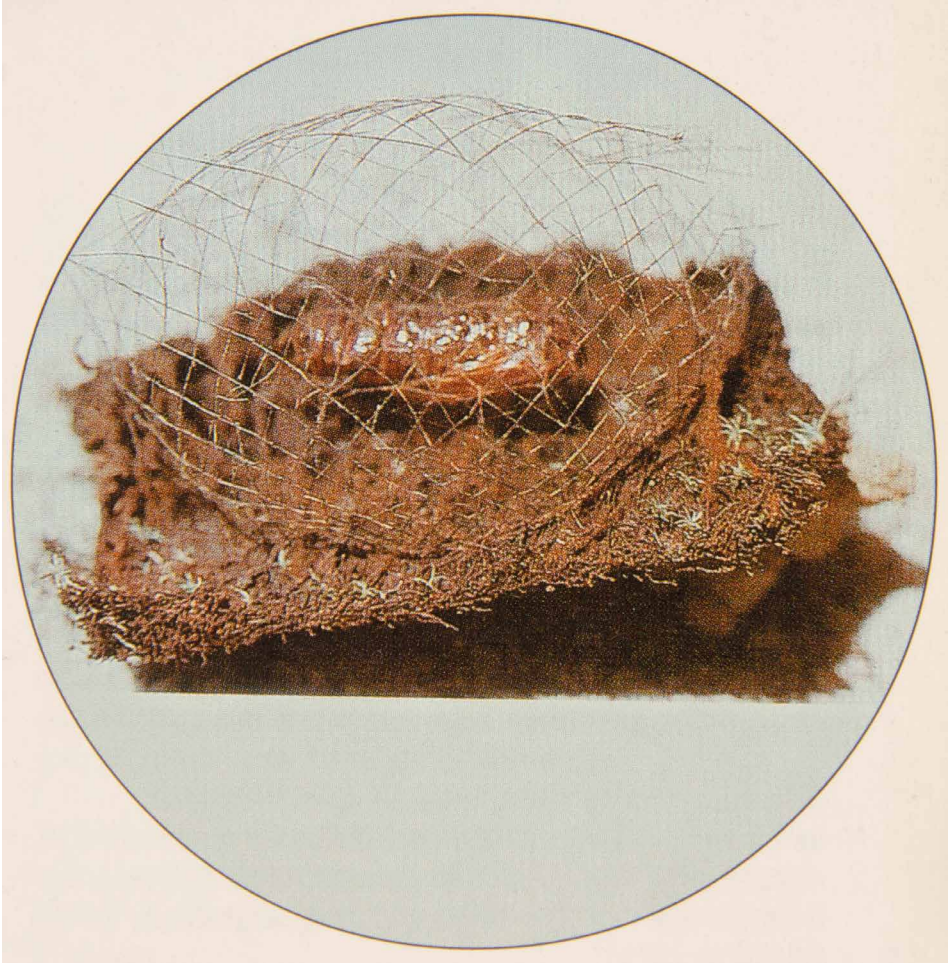


19.
**German Pavilion at Expo '67, Montreal, 1967. Frei Otto and Rolf Gutbrod +
Institut für Leichte Flächentragwerke, Stuttgart.**
Padiglione tedesco dell'Expo '67, Montreal, 1967. Frei Otto e Rolf
Gutbrod + Institut für Leichte Flächentragwerke, Stoccarda.



20.

A geodesic dome structure in Montreal. Richard Buckminster Fuller, architect.
Struttura a cupola geodetica a Montreal. Richard Buckminster Fuller, architetto.



21.
The pupal case of a butterfly species. The dome is constructed of larval hairs attached together by silk. The larval case is suspended as a silk hammock within the dome.
L'involucro pupale di una specie di farfalla. La cupola è realizzata con peli larvali legati assieme con la seta. L'involucro larvale è sospeso come un'amaca di seta all'interno della cupola.



22.
A spider's web.
Una tela di ragno.



Animal Builders
Ecological
functionalism of the
animal world

Animali costruttori
Funzionalismo
ecologico del
mondo animale

Juhani Pallasmaa

The variety of animal constructions

The subject of animal architecture is astonishingly vast. Building species are scattered throughout the *phyla* from protozoa to primates. The number of different functions of animal constructions, as well as the materials and construction techniques used, are far too extensive for anything but a collection of examples to be shown in a single exhibition.

It is rather surprising, as well as thought-provoking, that the constructions of higher animals are among the least ingenious in the animal kingdom. Apes, for example, construct a fairly haphazard and temporary shelter, as compared to termite metropolis of millions of inhabitants, which have been observed to have been utilised for more than a century. If we were to transfer a large termite nest to human scale, their tower would rise to the height of a mile and would house the entire population of New York.

The most intricate constructions in the animal kingdom can be found among birds and, somewhat unexpectedly, among insects and spiders.

The significance of architecture

The degree of architectural sophistication of animal constructions seems to be roughly in inverse proportion to the size of the animal: a nest offers relatively less protection for a large animal than a smaller one. The manner in which offspring are born and nursed also has an effect on the relative advantage offered by an architectural artefact. And structural properties of materials define an optimum scale for a particular material and type of structure.

Constructions decrease mortality among the animals themselves or of their offspring and improve their chances of propagation. The significance of nest-building is evident, for instance, in the number of eggs various species of fish need to produce in order to secure procreation. Cod-fish and carp, which drop their eggs directly into water, need to produce, respectively, about nine million or half a million to one million eggs to obtain the same result as the salmon with its 15,000 eggs laid in shallow pits in the sand bottom.

Juhani Pallasmaa

La varietà delle costruzioni animali

Il tema dell'architettura animale è sorprendentemente vasto. Le specie costruttrici sono sparse in tutti i *phyla*, dai protozoi ai primati. Il numero di funzioni diverse svolte dalle costruzioni animali, così come i materiali e le tecniche utilizzate, sono troppo numerose per essere esposte in una sola mostra, se non esclusivamente come selezione di esempi.

È piuttosto sorprendente, oltre che stimolante, che le costruzioni degli animali superiori siano tra le meno ingegnose del regno animale. Le scimmie, per esempio, costruiscono un rifugio abbastanza disordinato e temporaneo in confronto alle metropoli delle termiti, dove vivono milioni di abitanti e che, a quanto si è osservato, vengono utilizzate per oltre un secolo. Se portassimo un grande termitaio alla scala umana, l'altezza della sua sommità raggiungerebbe il chilometro e seicento metri e potrebbe ospitare l'intera popolazione di New York.

Le costruzioni più complesse del regno animale si trovano tra gli uccelli e, un po' inaspettatamente, tra gli insetti e i ragni.

Il significato dell'architettura

Il grado di sofisticatezza architettonica delle costruzioni animali sembra essere all'incirca inversamente proporzionale alla dimensione dell'animale: un nido offre relativamente meno protezione a un animale grande rispetto a uno più piccolo. Il modo in cui la prole nasce e viene sfamata ha un certo effetto sul relativo vantaggio dato da un manufatto architettonico. E le proprietà strutturali dei materiali definiscono una scala ottimale per un particolare materiale e tipo di struttura.

Le costruzioni riducono la mortalità fra gli animali o la loro prole, e migliorano le possibilità riproduttive. L'importanza della costruzione dei nidi è evidente, per esempio, nel numero di uova che varie specie di pesci devono deporre per assicurarsi la procreazione. Il merluzzo e la carpa, che depongono le uova direttamente nell'acqua, hanno bisogno di produrre, rispettivamente, dai nove milioni o dal mezzo milione al milione di uova all'incirca per ottenere lo stesso risultato

Mouthbrooders, certain species of jawfishes living in tropical lakes, guard their eggs and young offspring inside their mouth, which functions as a living nest. Mouthbrooding cuts down losses of eggs to the degree that some species have only four to eight eggs.

The Darwin frog (*Rhinoderma darwinii*) broods its eggs in its vocal sac, a deep skin fold starting in the front part of the mouth, and lays only 20 to 30 eggs. The Javanese flying frog (*Rhacophorus reinwardti*), which builds a superb pneumatic foam nest suspended from a branch above water, lays between 60 and 90 eggs. On the other hand, the edible frog (*Rana esculenta*) has to lay about ten thousand, since it has no concern for its progeny beyond spawning and fertilisation.

The scale and precision of animal constructions

When considering animal constructions, we usually think of the miniature scale of a bird's nest or the apparently crude construction technique of the squirrel. But many animal constructions exceed the scale of human constructions, particularly in relation to the size of their builders. Others are constructed with a precision unimaginable in human building.

The largest single animal construction in absolute terms is, perhaps, the beaver dam; the largest known beaver dam is 1,200 metres long. But the continuous additive net of certain orb weaver spiders (*Araneus sermoniferus*, *Uloborus republicanus*), built by thousands of individuals, may reach a size of 100 metres, which, when transferred to the relative scale of man, would be almost 20 kilometres.

The highest termite nests are nine metres high, which is nearly three kilometres at human scale. The weight of a large termite nest is about 12,000 kilograms. The wells of desert termites may extend forty metres into the ground, which is nearly 10 kilometres at human scale.

And the nest of the sparrowlike sociable weaverbird (*Philetairus socius*) may grow to a width of nine metres and a thickness of two metres.

At the microscopic end of the scale of structures, the normal thread thickness of a large adult orb spider is 0.010-0.012 millimetres. But the cribellate spiders produce capture wool from up to 50,000 individual threads of only 0.0002 millimetres in diameter. The poisonous members of the genus *Loxosceles* catch prey with even thinner thread bands.

Animal master-builders

The appearance of builders through the *phyla* is rather unpredictable; there are concentrations of architectural talent, as among the arthropods and birds. And the species do not have to be particularly intelligent or advanced in order to be skillful as builders; impressive construction takes place among the protozoa, and many capable builder species appear in the lower metazoa.

Artefact builders teach us that the organisation of even simple animal life is astonishingly

del salmone con le sue quindicimila uova deposte in fosse poco profonde su un fondale sabbioso. I ciclidi incubatori orali, alcune specie di pesci opistognati che vivono nei laghi tropicali, proteggono le uova e la giovane prole nella bocca, che funziona come un nido vivente. I ciclidi incubatori orali riducono le perdite di uova al punto che alcune specie ne depongono dalle quattro alle otto soltanto.

La rana di Darwin (*Rhinoderma darwinii*) cova le uova nel sacco orale, una profonda piega della pelle che inizia nella parte anteriore della bocca, e ne depone solo dalle venti alle trenta. La rana volante di Giava (*Rhacophorus reinwardti*), che realizza un superbo nido di schiuma pneumatica sospeso su un ramo sopra l'acqua, depone dalle sessanta alle novanta uova. Al contrario, la rana comune (*Rana esculenta*) deve deporre circa diecimila, dato che non si preoccupa della sua prole al di là della deposizione e della fecondazione delle uova.

La scala e la precisione delle costruzioni animali

Quando consideriamo le costruzioni animali, di solito pensiamo alla scala in miniatura del nido di un uccello o alla tecnica costruttiva apparentemente rozza dello scoiattolo, ma molte di esse superano la scala di quelle dell'uomo, soprattutto se riferite alle dimensioni dei loro edificatori. Altre sono realizzate con una precisione inimmaginabile negli artefatti umani.

La più grande costruzione animale in termini assoluti è forse la diga del castoro; la più estesa conosciuta è lunga milleduecento metri. Tuttavia la rete di certi ragni tessitori (*Araneus sermoniferus*, *Uloborus republicanus*) composta da continue addizioni, e costruita da migliaia di individui, può raggiungere una lunghezza di cento metri, che, se riferita alla scala dell'uomo, corrisponderebbe a quasi venti chilometri.

I termitai più alti raggiungono i nove metri di altezza, che rapportati alla scala umana sono quasi tre chilometri. Il peso di un grande termitaio è di circa dodicimila chilogrammi. I pozzi delle termiti del deserto possono raggiungere i quaranta metri di profondità, che alla scala umana corrispondono a quasi dieci chilometri. E il nido del passero repubblicano (*Philetairus socius*), noto anche come tessitore dell'insediamento, può raggiungere una larghezza di nove metri e uno spessore di due.

All'estremità microscopica della scala delle strutture, il normale spessore del filo di un grande araneide adulto è di 0,010-0,012 millimetri. Tuttavia i ragni cribellati intessono delle reti-trappola che possono arrivare a essere composte da cinquantamila singoli filamenti di soli 0,0002 millimetri di diametro. I membri velenosi del genere *Loxosceles* catturano le prede con bende, strisce o fasce di fili ancora più sottili.



23.

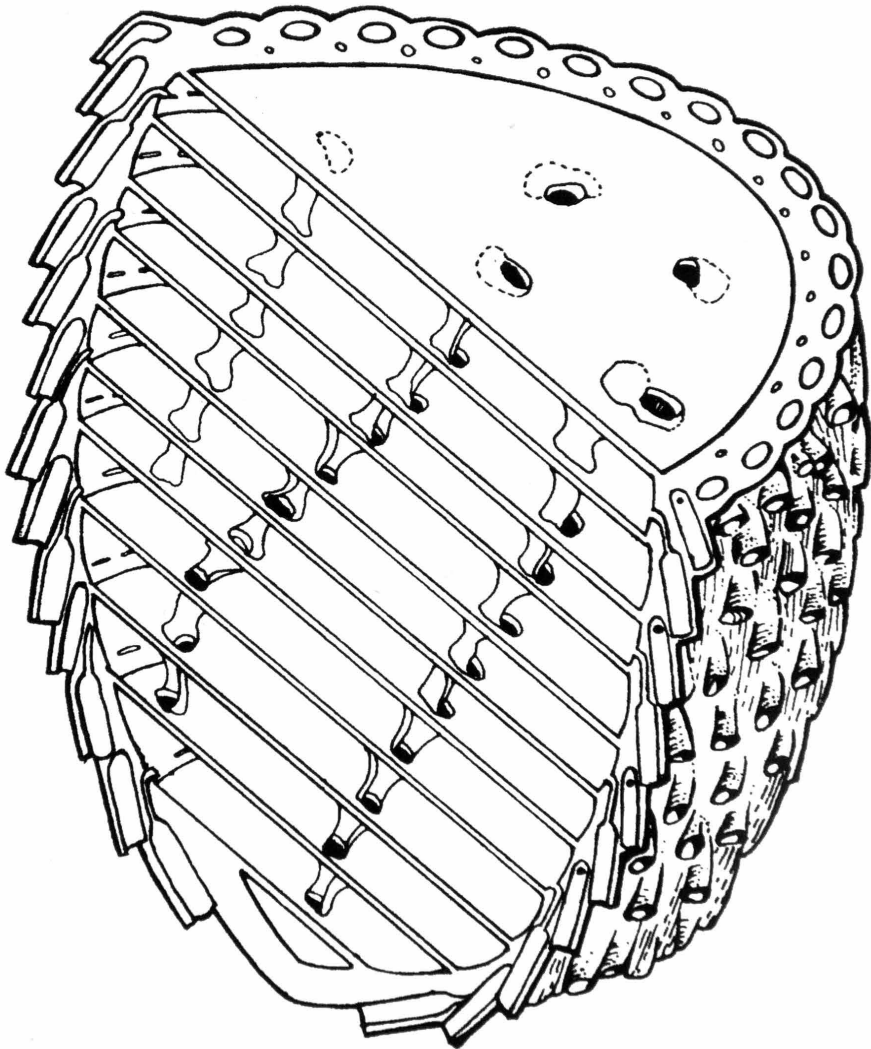
The chimpanzee (*Pan troglodytes*) piles a primitive sleeping platform of branches.

Lo scimpanzé (*Pan troglodytes*) ammuquia dei rami per formare un primitivo giaciglio dove dormire.



24.

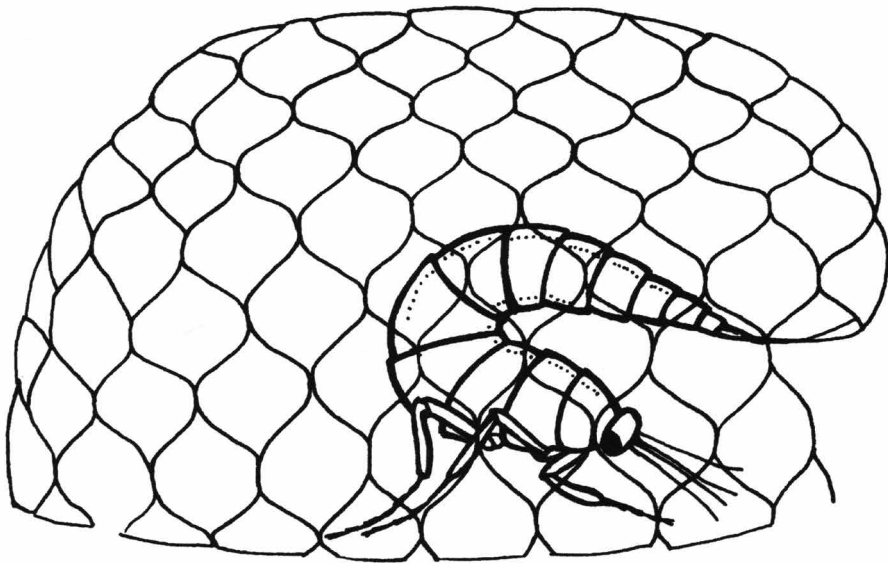
The white-eared hummingbird (*Hylocharis leucotis*) uses spiders' webs as an important nesting material.
Il colibrì (*Hylocharis leucotis*) utilizza le ragnatele come importante materiale da costruzione del nido.



25.

Section through the nest of *Apicotermes lamani* termites. The floor levels are joined by ramps and each floor is connected to the exterior by narrow slits opening to tubes pointing down.

Sezione trasversale di un nido di termiti *Apicotermes lamani*. I vari piani sono uniti da rampe e ogni piano è collegato con l'esterno per mezzo di strette fessure che si aprono su tubi orientati verso il basso.



26.

The larva of *Climacia areolaris* (*Neuroptera*) constructs a geometric dome of silk produced by its anal spinnerets as the outer layer of its cocoon.

La larva di *Climacia areolaris* (*Neuroptera*) costruisce una cupola geometrica di seta, prodotta dai settieri anali, per formare lo strato esterno del proprio bozzolo.

First or Upper Dam 90 ft. long

60 ft.

2^d Dam 60 ft.

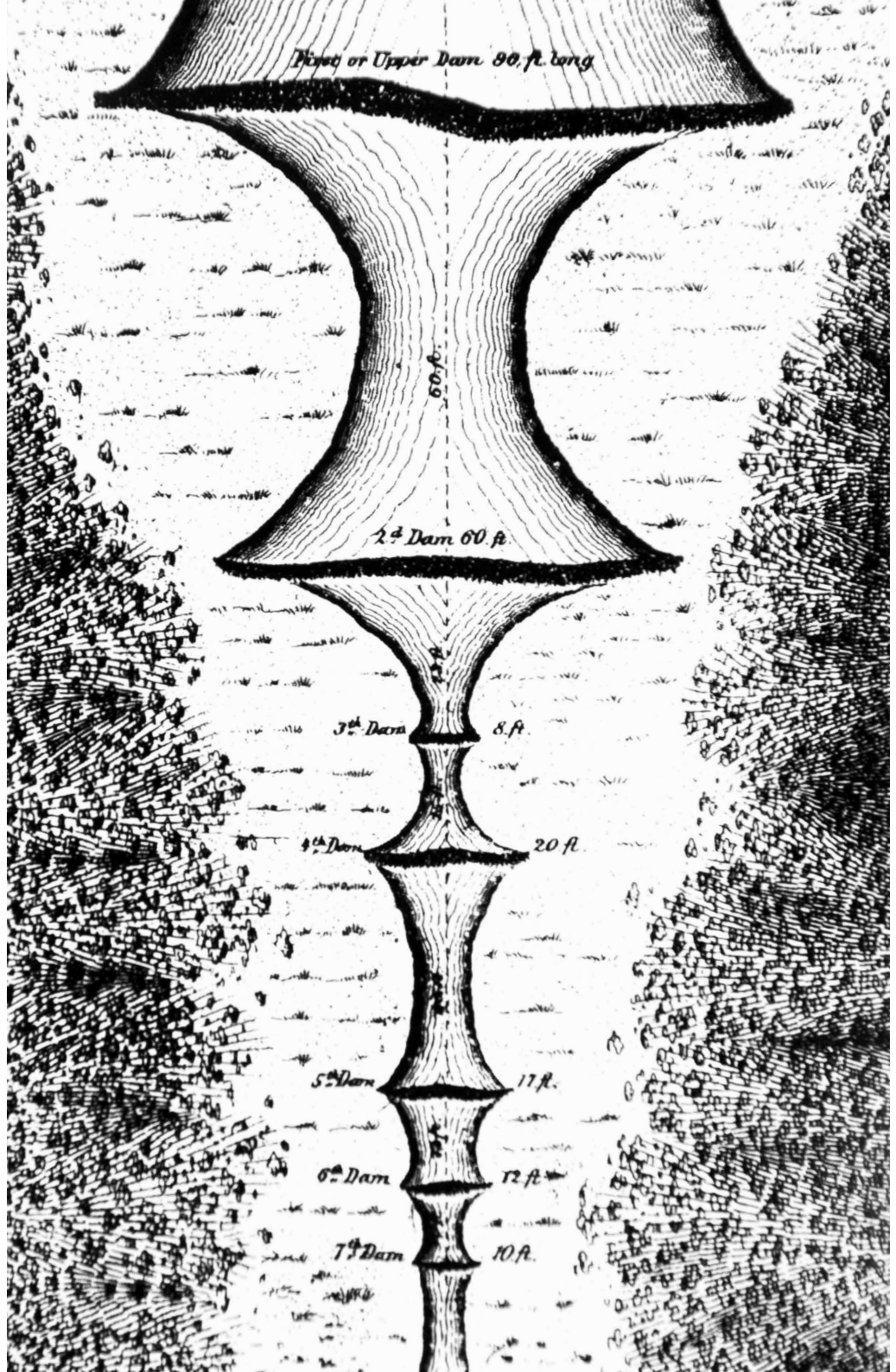
3^d Dam 8 ft.

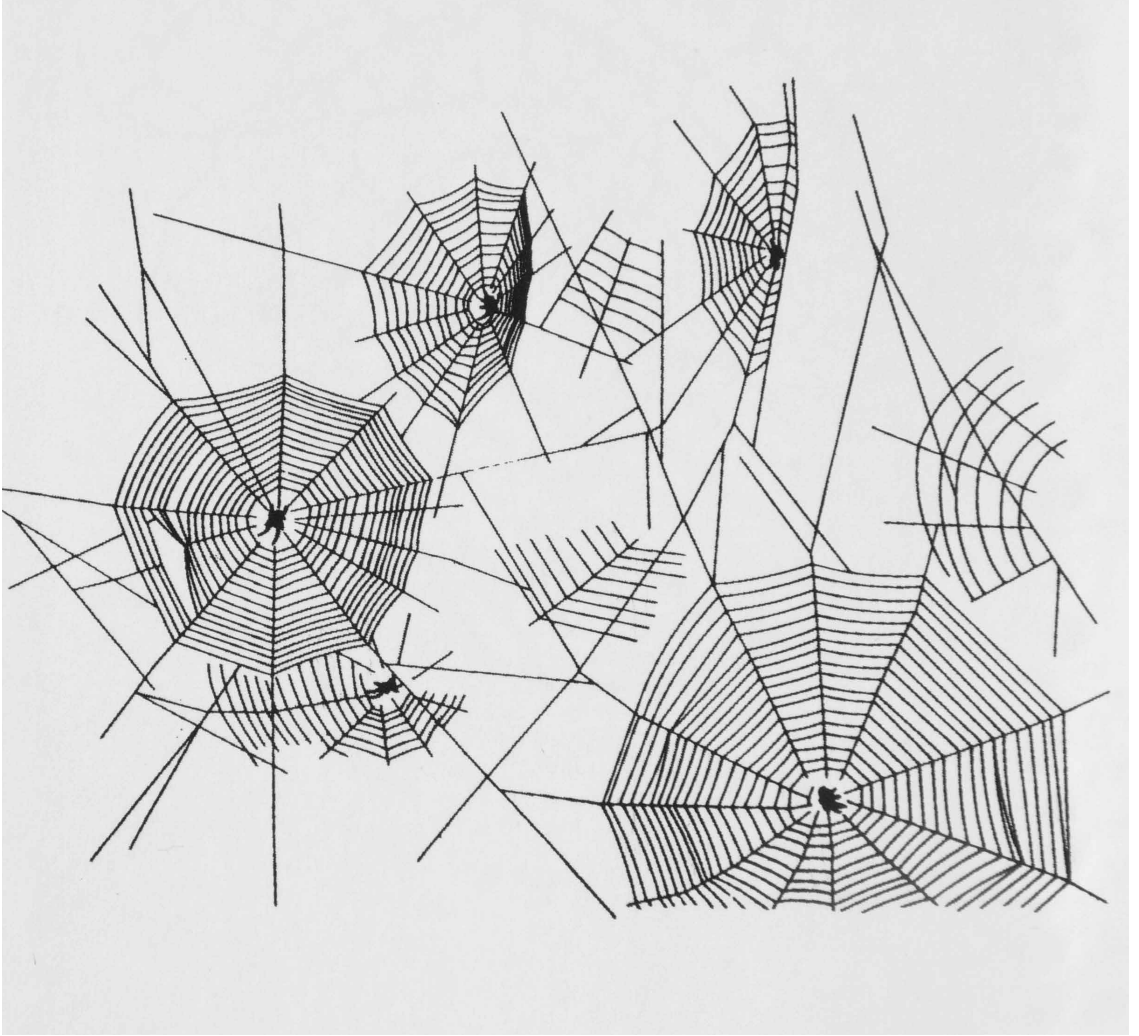
4th Dam 20 ft.

5th Dam 17 ft.

6th Dam 12 ft.

7th Dam 10 ft.





27.
Series of beaver dams in a gorge. The largest recorded beaver dam is 1200 metres wide.
Serie di dighe di castoro in una gola. La più grande diga di castoro conosciuta è larga 1200 metri.

28.
The web of the colonial spiders *Metabus gravidus*, composed of individual orb webs, can be 100 metres wide.
La rete dei ragni coloniali *Metabus gravidus*, composta da singole ragnatele orbicolari, può essere larga 100 metri.

complex and subtle. Close studies by a scanning electron microscope reveal mind-boggling structural refinements on a scale invisible to the human eye and totally beyond the capabilities of human builders. The evolution of man depends just as much on the development of his hands as on that of his capacity of thought. It is not surprising that Martin Heidegger related hands to thinking in his seminal essay, *What Calls for Thinking*.

Most of the animal species that build have great manipulative skill, and this is particularly true of the three major groups of builders. The spiders and insects derive their skill from their multiply jointed legs and subtle mouthparts, and birds have narrow beaks attached to a mobile head, allowing very precise movements. This manipulative building skill is exemplified by the almost human weaving, intertwining and knotting practice of weaverbirds. An inventory of weaverbirds' knots could easily be mistaken for a page of the Boy Scouts' instruction book on knots.

Similarities of solutions

It is interesting that totally different animal species have arrived at similar solutions to their construction problems. Structures built for similar functions often have similar features, and animals using the same material are constrained by the same physical and structural characteristics. For the same reasons, animal constructions frequently have direct parallels with the constructions of human cultures. Traditional cultures use the same natural materials as animals, such as plant fibres, leaves, branches, clay, mud, animal dung, or snow, and work these materials in accordance with their physical properties.

Three animals, for instance, have independently invented the making of paper. Paper wasps use small particles of wood gnawed off from trees and wood posts as their raw material, and they mix these fibres with their hardening saliva. Some termites also make paper from wood particles, but they use their saliva or excreta as a cement to make a substance that resembles carton. Ants have developed yet another method of building carton nests; the jet ant (*Lasius fuliginosus*) impregnates wood particles with a sugar solution, which creates a nutritive substance for its cultivation of fungi, whose hyphae bind the particles together, thus reinforcing the nest structure; this increases the structural strength of the house.

Birds, too, have invented the production of a kind of a cardboard. The Australian scrub-birds (*Atrichornis*) line their nests with masticated wet plant material which dries into a substance resembling cardboard. The song-thrush (*Turdus philomelos*) lines its nest cup with rotting wood fibres, which creates a kind of a pulp that hardens into a cardboard-like material.

To give another example of parallel inventions made by different animals, several animal species have discovered how to construct pneumatic structures and, in addition to belonging to

Animali mastri costruttori

La comparsa dei costruttori attraverso i *phyla* è piuttosto imprevedibile; ci sono concentrazioni di talento architettonico, come tra gli artropodi e gli uccelli. E le specie non devono essere particolarmente intelligenti o avanzate per essere dei provetti costruttori; edificazioni impressionanti si trovano fra i protozoi, e molte specie di abili costruttori si osservano nei metazoi inferiori.

I costruttori di artefatti ci insegnano che l'organizzazione della vita animale anche più semplice è sorprendentemente complessa e raffinata. Studi ravvicinati al microscopio elettronico a scansione rivelano eleganze strutturali sbalorditive a una scala invisibile all'occhio umano e ben oltre le nostre capacità edificatorie. L'evoluzione dell'uomo dipende dallo sviluppo delle sue mani tanto quanto dall'evoluzione della sua capacità di pensiero. Non è sorprendente che Martin Heidegger abbia messo in relazione le mani con il pensiero nel libro fondamentale dal titolo *Che cosa significa pensare*.

La maggior parte delle specie animali costruttori hanno una grande abilità manipolatoria, il che è particolarmente vero per i tre principali gruppi di costruttori. I ragni e gli insetti devono la propria abilità alle zampe articolate e all'apparato orale sottile, mentre gli uccelli sono dotati di becchi corti attaccati a una testa mobile che consente loro movimenti molto precisi. Tale abilità edificatoria di tipo manipolatorio è esemplificata dalla pratica del tessere, intrecciare e annodare degli uccelli tessitori, quasi paragonabile a quella dell'uomo. Un inventario dei nodi degli uccelli potrebbe venire facilmente scambiato per una pagina tratta da un libro di istruzioni per Boy-Scout su come fare i nodi.

Soluzioni simili

È interessante notare come specie animali del tutto diverse siano arrivate a soluzioni analoghe per risolvere i loro problemi edificatori. Le strutture costruite per svolgere funzioni simili hanno spesso caratteristiche comuni, e gli animali che utilizzano lo stesso materiale sono vincolati dalle medesime caratteristiche fisiche e strutturali. Per le stesse ragioni, le costruzioni degli animali hanno spesso somiglianze evidenti con quelle dell'uomo. Le culture tradizionali ricorrono agli stessi materiali naturali degli animali, come fibre vegetali, foglie, rami, argilla, fango, sterco animale o neve, e li lavorano secondo le loro proprietà fisiche.

Tre animali, per esempio, hanno inventato indipendentemente l'uno dall'altro il modo di fare la carta. Le vespe della carta utilizzano come materia prima piccole particelle di legno rosicchiate da alberi e da pali di legno, e mescolano tali fibre con la propria saliva indurente. Anche alcune termiti producono la carta a partire da particelle di legno, ma impiegano la loro saliva o i loro escrementi come cemento per realizzare una sostanza che assomiglia al cartone. Le formiche

completely unrelated groups, these species use different methods of producing the foam for their constructions. Frog-hopper larvae (*Philaenus*) produce foam by exhaling air into a drop of viscid fluid, which is an excretion from the anus of inverted insect that flows around its body. Labyrinth fishes (*Macropodus opercularis*) make their bubble nests by snapping air at the surface and mixing it with a salivary secretion. Green flying frogs (*Rhacophorus reinwardti*), for their part, produce their beautiful pneumatic foam houses by whipping up foam with their hind legs during copulation. The water is gradually released from the foam of the nest wrapped inside plant leaves, and provides the young with an enclosed miniature pool. Finally, the bottom of the foam nest breaks and the young frogs fall into water beneath their nesting branch.

Animal use of tools

Before going into the architectural solutions of animals, I shall give some examples of other artefacts that animals have invented.

Australopithecus, who lived about one million years ago, and which is considered the most primitive representative of the family of Man, knew how to fashion pebble tools from stone and to sharpen their edges by chipping. This ability to make tools, along with the capacity of speech, is commonly seen as the quality that differentiates man from other animals.

However, the use of tools that are not their body parts is by no means unknown among animals. The definition of a tool appears simple, but is, in fact, highly controversial. In his detailed book on animal tool behaviour, Benjamin B. Beck lists twenty-one modes of use and four modes of manufacture of tools by animals. Wasps, for instance, use a stone held between their mandibles to tighten the earth opening to their underground tube, and the sea otter (*Enhydra lutris*) uses a stone anvil for breaking sea shells. The Egyptian vulture (*Neophron percnopterus*) breaks an egg shell with a stone. Another, much larger vulture, the lammergeier (*Gypaetus barbatus*), drops sheep bones from high up in the air to be broken against cliffs, and, similarly, the herring gull (*Larus argentatus*) crushes marine molluscs by dropping them from flight on a hard ground surface. The black kite (*Milvus migrans*) even starts forest fires in order to drive its prey animals from their hiding places. Tools can be similar among very different species: the Galapagos woodpecker finch (*Cactospiza pallida*), for instance, uses a cactus spine to probe for insect larvae in holes in the bark of a tree in the same way as a chimpanzee inserts a straight stick into a termite mound to pull out delicious termites. Mole crickets (*Gryllotalpa vineae*) have invented a sound-amplifier, while chimpanzees use a hollow tree as a drum, or construct a drum of clay on top of a porous peat bed, which they allow to dry before using it in their dance rituals.

hanno sviluppato un altro metodo per edificare nidi di cartone; la formica fuliginosa (*Lasius fuliginosus*) impregna le particelle di legno con una soluzione zuccherina, che crea una sostanza nutritiva per la coltivazione di funghi, le cui ife legano insieme le particelle, rinforzando in tal modo la struttura del nido; tutto ciò aumenta la resistenza del formicaio.

Pure gli uccelli hanno inventato la produzione di una specie di cartone. Gli *Atrichornis* australiani rivestono i nidi con del materiale vegetale umido masticato che si asciuga in una sostanza simile al cartone. Il tordo bottaccio (*Turdus philomelos*) foderà il nido con fibre di legno in decomposizione, il che crea una specie di polpa che si indurisce formando un materiale simile al cartone.

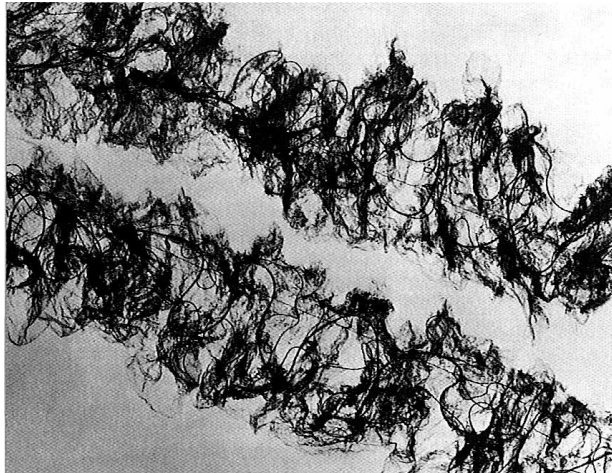
Per fare un ulteriore esempio di invenzioni simili di animali diversi, molte specie animali hanno scoperto come costruire strutture pneumatiche e, oltre ad appartenere a gruppi completamente estranei, tali specie ricorrono a modi differenti per produrre la schiuma necessaria alle loro costruzioni. Le larve di sputacchina (*Philaenus*) ricavano della schiuma insufflando dell'aria in una goccia di fluido viscido, che è una escrezione anale dell'insetto rovesciato che scorre intorno al suo corpo. I pesci del paradiso (*Macropodus opercularis*) realizzano nidi di bolle agitando l'aria in superficie e mescolandola con una secrezione salivare. Le rane volanti di Giava (*Rhacophorus reinwardti*), da parte loro, fanno delle belle abitazioni di schiuma pneumatica montandola con le zampe posteriori durante l'accoppiamento. L'acqua viene gradualmente rilasciata dalla schiuma del nido, avvolto da foglie di piante, in modo da fornire ai girini un acquario in miniatura. Alla fine, il fondo del nido blobboidale si rompe e le giovani rane cadono nell'acqua sotto il ramo di nidificazione.

L'impiego di utensili da parte degli animali

Prima di addentrarmi nelle soluzioni architettoniche degli animali, farò alcuni esempi di altri manufatti da loro inventati.

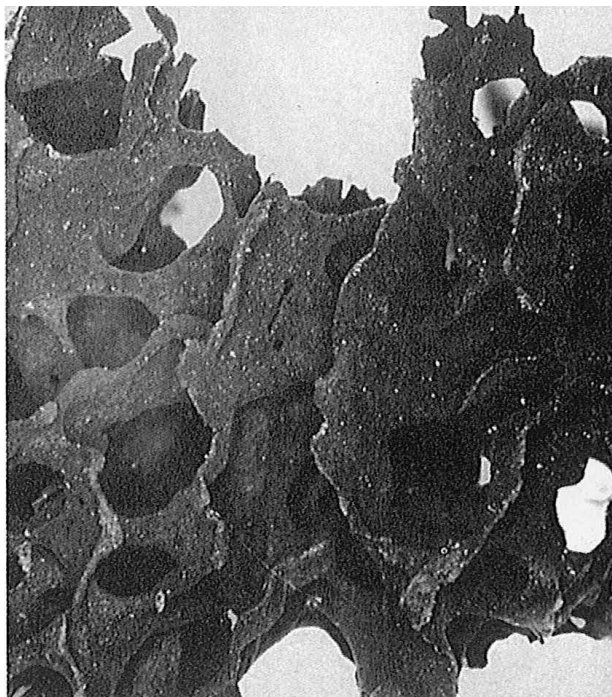
L'australopiteco, vissuto circa un milione di anni fa, considerato il rappresentante più primitivo della famiglia dell'uomo, sapeva come realizzare utensili di pietra e affilarne i bordi scheggiandoli. La capacità di fabbricare utensili, insieme a quella di parlare, è comunemente considerata la qualità che distingue l'uomo dagli altri animali.

Tuttavia il ricorso a strumenti che non siano parti del proprio corpo non è affatto sconosciuto tra gli animali. La definizione di strumento pare semplice, ma, in realtà, è molto controversa. Nel minuzioso libro sul comportamento degli animali rispetto all'impiego degli utensili, Benjamin B. Beck elenca ventuno modi di utilizzare e fabbricare gli utensili da parte loro. Le vespe, per esempio, impiegano una pietra tenuta stretta fra le mandibole per consolidare l'ingresso di terra



29.
Hacked band of *Stegodyphus sarasinorum* spider. The capture woff is applied on two very thin expanded warps.

Banda di *Stegodyphus sarasinorum*. La trama di cattura è applicata su due orditi espansi molto sottili.



30.
Nest carton of the *Lasius fuliginosus* ant made of wood particles bound by sugary excretion collected from aphids.
Nido di cartone della formica *Lasius fuliginosus* realizzato con delle particelle di legno tenute assieme grazie a escrezioni zuccherine raccolte dagli afidi.



31-32.

A paper nest of vespid wasps (*Vespidae*), Costa Rica.

Un nido di carta di una vespa cartonaia (*Vespidae*), Costa Rica.

Animals are also able to take advantage of alien conditions. Airbreathing water spiders (*Argyroseta aquatica*) use a diving bell, a bubble of air held in a silk net. Several aquatic insects retain an air bubble in special structures of their body: all these acts as a physiological lung; as soon as the pressure of oxygen decreases, more oxygen diffuses from the surrounding water. Common garden spiders use fly lines to move long distances by wind. The Portuguese man o' war (*Physalia physalis*) lifts up its sail and travels by the wind, as whales occasionally also do. The violet snail *Janthina janthina* floats on the water surface by means of a bubble raft made by its mobile foot, which scoops up bubbles of air and, after enveloping them in mucus, adds them to its raft.

Further animal artefacts that resemble tools include the woodpecker's anvil, a tree stump with a suitable wedgelike cavity to hold cones, the use of a water jet to shoot down prey by the archer fish (*Trichogaster jaculatrix* / *Toxotes jaculatrix*), and the adhesive ball attached to a line that the Australian bolas spider (*Mastophora*) swings at its prey.

The bowerbirds (*Ptilonorhynchidae*) have even devised a brush; the male bird of a species paints the inside of his bower with a piece of fibrous bark as a sponge or brush, which he dips in the juice of blue berries that he has crushed in his beak. Chimpanzees chew a plant leaf to form a spongy substance in order to retrieve water from holes in trees that they cannot reach directly with their mouths. Ants of the genus *Aphaenogaster* use a similar technique. They have been observed to drop small pieces of leaf or soil in liquid food; after having been left to soak, the lumps are carried to the nest.

Undoubtedly the most bizarre and ingenious tool invented by animals is the live spindle and shuttle used by the weaver ants (*Oecophylla smaragdina*): a worker ant holds a larva between its mandibles and weaves together the edges of leaves – held at proper distance by other workers – with silk extruded by its offspring to construct a nest cavity inside a folded leaf or a bunch of leaves.

The idea that animals have been capable of inventing tools fascinates us, but it may not be so great a miracle when compared to other skills or artefact inventions of animals. After all, the hammer of the *Ammophila* wasp is a minor invention when compared to the artificial lung of the termite nest.

Animal inventors

Animals have also made architectural inventions. Numerous animals close their nests or storage cells and pots with ingenious caps, and several animal species have also invented the door. A species of ciliate (*Caulicola velveta*) produces a lorica, which has a hinged lid that closes when the organism withdraws inside. The larva of a caddis-fly (*Synagapatus ater*) constructs a remarkable two-storey house of stones held together by silk strands. The upper storey has a tunnel that directs oxygen-rich water into the house. The rim of the structure functions as a suction disk to attach

del loro tunnel sotterraneo, e la lontra di mare (*Enhydra lutris*) ricorre a un'incudine di pietra per spaccare le conchiglie. Il capovaccaio egiziano (*Neophron percnopterus*) rompe i gusci d'uovo con delle pietre. Un altro avvoltoio molto più grande, il gipeto (*Gypaetus barbatus*), fa precipitare dall'alto le ossa di pecora per frantumarle contro le scogliere e, analogamente, il gabbiano reale nordico (*Larus argentatus*) fa a pezzi i molluschi marini lasciandoli cadere su una superficie dura mentre è in volo. Il nibbio bruno (*Milvus migrans*) appicca perfino incendi nelle foreste per stanare le prede dai nascondigli.

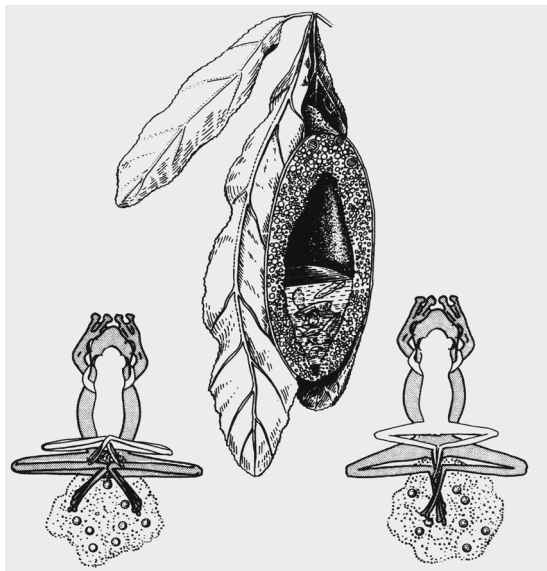
Gli strumenti possono essere simili tra specie molto diverse: il fringuello picchio delle Galapagos (*Cactospiza pallida*), per esempio, utilizza una spina di cactus per cercare le larve di insetto nei buchi della corteccia di un albero nello stesso modo in cui uno scimpanzé inserisce un bastone in un termitaio per estrarne deliziose termiti.

Il grillotalpa (*Gryllotalpa vineae*) ha inventato un amplificatore di suoni, mentre gli scimpanzé utilizzano un albero cavo come tamburo, o lo costruiscono di argilla sopra un letto di torba porosa e, prima di impiegarlo nelle loro danze rituali, lo lasciano asciugare.

Gli animali sono perfino capaci di approfittare di situazioni a loro sconosciute. I ragni palombaro (*Argyroneta aquatica*) vivono sott'acqua ricorrendo a una campana d'immersione, ossia una bolla d'aria imbrigliata in una rete di seta. Diversi insetti acquatici trattengono una bolla d'aria in strutture speciali del corpo, le quali fungono da polmone fisiologico: non appena la pressione dell'ossigeno diminuisce, una maggiore quantità di ossigeno si trasmette dall'acqua circostante. I comuni ragni da giardino utilizzano fili volanti per spostarsi su lunghe distanze grazie al vento. La caravella portoghese (*Physalia physalis*) issa la sua vela e naviga grazie al vento, come occasionalmente fanno anche le balene. La lumaca di mare viola (*Janthina janthina*) galleggia sul pelo dell'acqua grazie a una zattera di bolle realizzata con il suo piede mobile, che raccoglie le bolle d'aria e, dopo averle avvolte di muco, le aggiunge alla zattera.

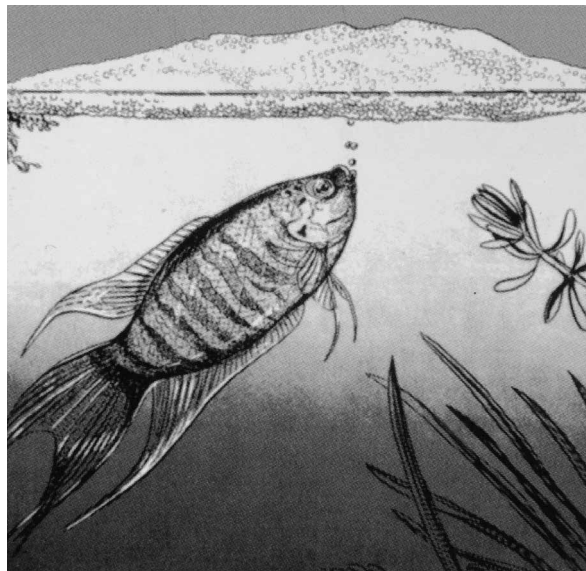
Altri artefatti animali somiglianti a degli strumenti comprendono l'incudine del picchio, un ceppo d'albero con una cavità cuneiforme adatta a contenere le pigne, il ricorso a un getto d'acqua per abbattere la preda da parte del pesce arciere (*Trichogaster jaculatrix* / *Toxotes jaculatrix*), e la bolla adesiva attaccata a un filo che il ragno australiano appartenente alla famiglia Araneidae (*Mastophora*) fa oscillare verso la preda.

Gli uccelli giardiniere (*Ptilonorhynchidae*) hanno perfino inventato un pennello; il maschio di una specie di questi uccelli dipinge l'interno della sua pergola con un frammento di corteccia fibrosa, utilizzata come una spugna o pennello, che intinge nel succo di bacche blu che ha schiacciato nel becco. Gli scimpanzé masticano una foglia di pianta per formare una sostanza spugnosa con la quale recuperano l'acqua dai buchi negli alberi che non possono raggiungere



33. **Javanese flying frogs (*Rhacophorus reinwardti*) construct a bubble nest wrapped in leaves. The foam is produced by the couple by kicking air into mucus secretion. The foam liquefies and provides the tadpoles with an enclosed pool. Finally the foam nest breaks and the tadpoles fall into the water beneath the nest.**

Le rane volanti di Giava (*Rhacophorus reinwardti*) costruiscono un nido schiumoso avvolto da foglie. La schiuma è prodotta dalla coppia scaldando aria in una secrezione di muco. La schiuma si liquefa così da garantire ai girini un acquario. A un certo punto il nido di schiuma si rompe e i girini precipitano nell'acqua sottostante.



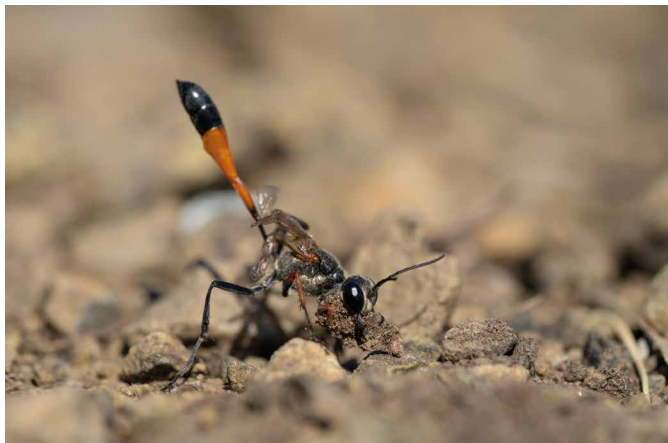
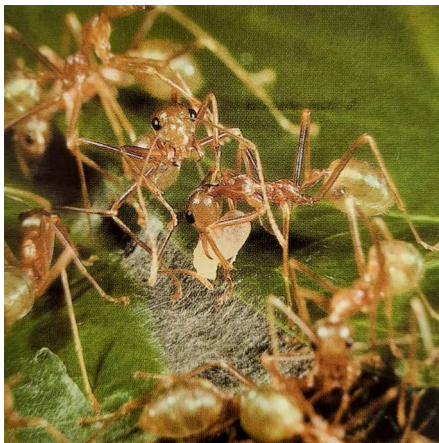
34. **Paradise fish (*Macropodus opercularis*) constructing a bubble nest.**

Il pesce del paradiso (*Macropodus opercularis*) mentre realizza un nido di bolle.

35. **The larva of the cuckoo spit insect (*Philaenus spumarius*) creates a shelter by making foam of defecated plant juice.**

La larva dell'insetto sputacchina (*Philaenus spumarius*) realizza un rifugio producendo della schiuma dal succo delle piante defecate.





36. The black kite (*Milvus migrans*) has learnt to start bush fires to drive its prey from their hiding places.

Il nibbio bruno (*Milvus migrans*) ha imparato ad appiccare incendi nella boscaglia per stanare le prede dai nascondigli.

37. The most ingenious tool invention of animals is that of the weaver ants (*Oecophylla*), which use their own larva, held between their mandibles, as a spindle and shuttle to weave their leaf nests together.

La più ingegnosa invenzione di strumenti da parte degli animali è quella delle formiche tessitrici (*Oecophylla*), le quali utilizzano la loro stessa larva, tenuta stretta fra le mandibole, a mo' di fuso e spola per intrecciare i loro nidi di foglie.

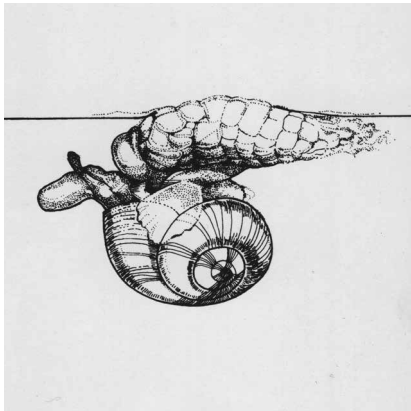
38. The *Ammophila* wasp uses a stone held between its mandibles to close the opening to its underground nest tube, which contains an egg and paralysed larvae.

La vespa *Ammophila* utilizza una pietra tenuta fra le mandibole per chiudere l'apertura del nido sotterraneo tubolare, nel quale sono contenuti un uovo e alcune larve paralizzate.



39.
A siphonophoran, the Portuguese man o' war (*Physalia physalis*) lifts up its sail to travel by the wind. The organism is not one animal, but a colony of several kinds of polyps that live and work in co-operation.

Un sifonoforo (*Physalia physalis*), o caravella portoghese, issa la propria vela per navigare a favore di vento. L'organismo non è un solo animale, ma è formato da una colonia di diversi tipi di polipi che vivono e lavorano in cooperazione.



40.
The violet snail (*Janthina janthina*) floats at the water surface by means of its bubble raft.

La lumaca di mare viola (*Janthina janthina*) galleggia sul pelo dell'acqua grazie alla sua zattera formata da bolle.



41. The archer fish (*Trichogaster jaculatrix* / *Toxotes jaculatrix*) uses a water jet to shoot down insect prey.

Il pesce arciere (*Trichogaster jaculatrix* / *Toxotes jaculatrix*) utilizza un getto d'acqua per abbattere gli insetti, che sono le sue prede.

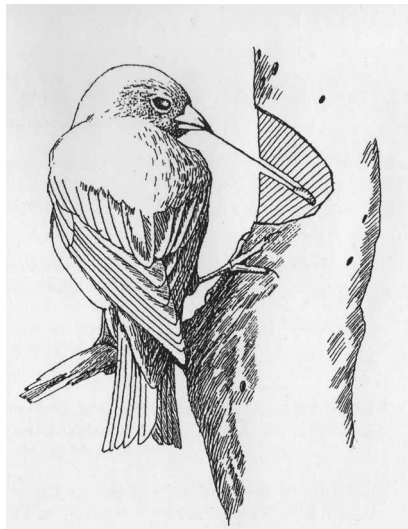
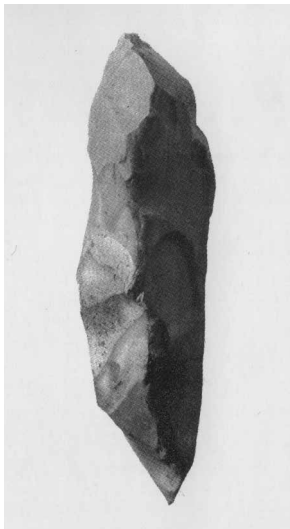




42.

The water spider (*Argyroneta aquatica*) is able to catch prey under water for extended periods by means of a diving bell, which consists of air enclosed in a silk net.

Il ragno palombaro (*Argyroneta aquatica*) è in grado di trascorrere lunghi periodi sott'acqua per catturare delle prede grazie a una campana d'immersione che consiste in una rete di seta contenente dell'aria.



43.
Flint axe, early Stone Age,
Knudsbjerg, Jutland.

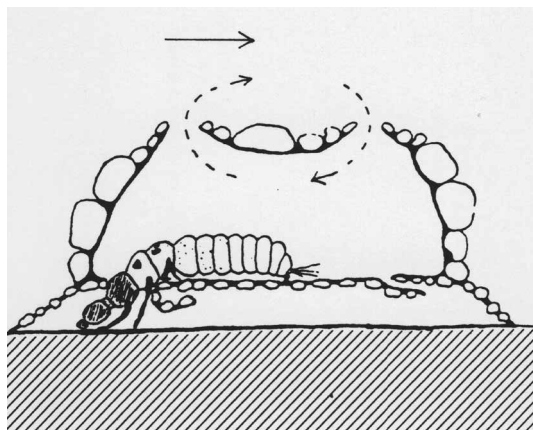
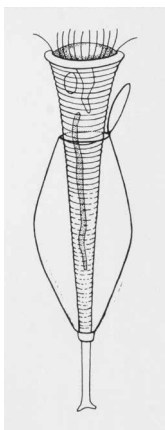
Ascia di selce, prima età della
 pietra, Knudsbjerg, Jutland.

44.
The Galapagos woodpecker finch
(*Camarhynchus pallidus*) spears
an insect larva with a cactus
spine held in its beak.

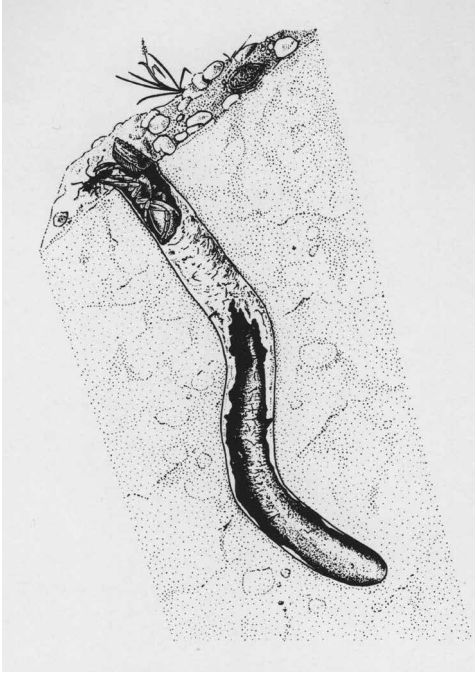
Il fringuello picchio delle Gala-
 pagos (*Camarhynchus pallidus*)
 mentre infilza una larva di inset-
 to con una spina di cactus tenu-
 ta nel becco.

45.
A species of ciliate, *Caulicola*
***velveta*, produces a lorica which**
is provided with a hinged lid
that closes when the organism
withdraws inside.

Una specie di ciliato, *Caulicola*
velveta, produce una corazza do-
 tata di un coperchio a cerniera ri-
 chiudibile quando l'organismo si
 ritira all'interno della tana.

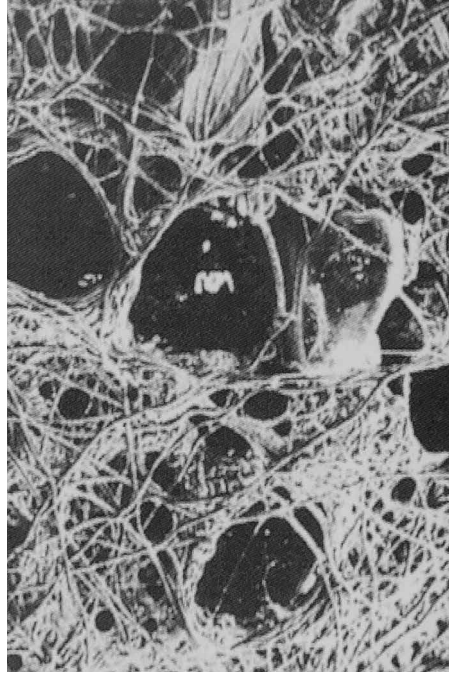


46.
The larva of *Synagapatus ater*
constructs a two-storey house
of stones tied together with silk
strands. The house is attached to
the bottom by a suction ring. The
larva eats algae beneath the floor
through two opening doors.
 La larva del tricottero *Synagapa-*
tus ater costruisce un nido a due
 piani con pietre tenute assieme
 con fili di seta. Il nido rimane at-
 taccato al fondale grazie a delle
 ventose. La larva mangia le alghe
 sotto il pavimento attraverso due
 porte apribili.



47. The trap-door spider (*Nemesia cementaria*) builds a silk-lined underground tube, which it provides with a hinged door camouflaged to disappear into its surroundings.

Il ragno *Nemesia cementaria* costruisce un tunnel sotterraneo foderato di seta e dotato di una porta a battente camuffata in modo da confondersi con l'ambiente circostante.



48. Electron-microscope picture of the door handles inside the door woven into the stone and silk structure.

Immagine al microscopio elettronico delle maniglie all'interno della porta intessuta nella struttura di pietra e seta.

the structure firmly to the bottom in currents of 20 centimetres per second or more. The animal can reach algae on the stone surface beneath the house through two folding doors in the floor.

Wasps close their tube holes with stones that the insects keep opening and closing, while leaf-cutter bees (*Megachile willoughbiella*) cut perfectly circular leaf discs to close their nest tube.

The trap-door spider (*Nemesia cementaria*) makes a hinged door with wedged edges that fit the tube frame to his silk-lined soil tube precisely; the door is even provided with a gripping handle (reminiscent of a certain design by Antoni Gaudí, by the way).

In addition to the door, some animals have invented a false door in order to hide the entrance to their nest. The apparent entrance to the nest of the penduline tit (*Remiz pendulinus*) leads into an empty pouch, whereas the entrance proper is hidden beneath a soft flap that the bird opens and closes when entering. The lesser swallow-tailed swift (*Panyptila cayennensis*) builds its nest under an overhanging cliff side. The entrance to the clay nest with a 60-centimetre flight tube is from below, but there is a mock entrance in the central part to divert predators.

To the list of animal inventions we could add the highway systems of ants, enclosed streets of termites, the staircases and ramps of *Apicotermes* termites, the vertical communication shaft of the paper tower built by wasps of the genus *Chartergus*, and the tiny windows made of hardened saliva in the paper nest of the tropical true wasp (*Metapolybia pediculata*). It is probable, however, that these windows are not devised for the illumination of the interior, but are a means of camouflage: the transparent window spots make the nest disappear into the shadows of vegetation.

And, the scarab beetle (*Scarabaeus sacer*) transports lumps of dung by rolling it in balls into its store.

Animals as architecture

Several animal species have developed physiological adaptations which serve similar functions to those other species have responded to through external constructions; animals themselves or their body parts have turned into a kind of living architecture.

A protozoan, *Diffflugia*, has developed a unique system of ingesting elements of construction together with its food. It incorporates indigestible particles such as grains of sand among its food, usually tiny algae, in its flowing protoplasm. These sand particles migrate from the interior of the protoplasm to the exterior surface and become cemented together with a secretion of the animal to form a protective urn-shaped casing. The grains are very precisely fitted together, and this necessarily implies some system of selection and orientation.

Some ant species do not build a proper nest at all, because they move from one location to the next as nomads. In the South American genus *Eciton*, for example, the whole colony clusters together for the night into a spherical heap to surround and protect the queen and her brood in the centre;

direttamente con la bocca. Le formiche del genere *Aphaenogaster* ricorrono a una tecnica simile. Sono state osservate mentre facevano cadere pezzettini di foglia o granelli di terra nel cibo liquido; dopo averli lasciati a mollo, i grumi vengono portati al nido.

Senza dubbio lo strumento più bizzarro e ingegnoso inventato dagli animali sono il fuso e la spo-la viventi utilizzati dalle formiche tessitrici (*Oecophylla smaragdina*): una formica operaia afferra una larva tra le mandibole e tesse insieme i bordi delle foglie – tenuti a debita distanza dalle altre operaie – con la seta estrusa dalla propria prole al fine di costruire una cavità che faccia da nido all'interno di una foglia piegata o di un mazzetto di foglie.

L'idea che gli animali siano stati capaci di inventare strumenti è affascinante, ma potrebbe non essere un miracolo così stupefacente se paragonato ad altre abilità o ad altre invenzioni di artefatti animali. Dopo tutto, il martello della vespa *Anmophila* è una trovata modesta rispetto al poll-mone artificiale del nido delle termiti.

Animali inventori

Gli animali hanno perfino fatto invenzioni architettoniche. Numerosi animali chiudono i propri nidi, o celle, e vasi di stoccaggio con tappi ingegnosi, e diverse specie animali hanno perfino ideato la porta. Una tipo di ciliato (*Caulicola velveta*) produce una corazza dotata di un coperchio a cerniera che si chiude quando l'organismo si ritrae all'interno. La larva del tricottero (*Synagapatur ater*) costruisce un interessante nido a due piani fatto di pietre tenute assieme da fili di seta. Al piano superiore un tunnel dirige l'acqua ricca di ossigeno nel nido. Il bordo della struttura funziona come una ventosa per ancorare saldamente la struttura al fondale in condizioni di correnti di venti centimetri al secondo o più. L'animale può raggiungere le alghe presenti sotto il nido sulle superfici di pietra attraverso due porte pieghevoli ubicate nel pavimento.

Le vespe chiudono i fori delle loro gallerie con delle pietre che gli insetti aprono e chiudono in continuazione; le api sarto (*Megachile willoughbiella*) ritagliano dischi di foglie perfettamente circolari per tappare il loro nido tubolare.

Il ragno *Nemesia cementaria* costruisce una porta a battente con i bordi incastrati che si adattano con precisione alla loro galleria di terra foderata di seta; la porta è anche dotata di una maniglia (che, tra l'altro, ricorda un certo disegno di Antoni Gaudí).

Oltre alla porta, alcuni animali hanno inventato un falso accesso per occultare l'ingresso del nido. L'entrata finta del nido del pendolino europeo (*Remiz pendulinus*) conduce a una sacca vuota, mentre l'ingresso vero e proprio è nascosto sotto un lembo morbido che l'uccello apre e chiude quando entra. Il rondone minore (*Panyptila cayennensis*), o rondone della Cayenna, costruisce il proprio nido sotto le sporgenze sul fianco delle scogliere. L'ingresso al nido d'argilla

the colony itself forms its protective nest. A soldier ant cluster may be up to a cubic metre in size. Weaver ants (*Oecophylla*) join on to each other and form living bridges in order to pull distant edges of leaves together to enfold the cavity of their leaf nest, while working teams of mole-rats, lined up one after the other, use a living conveyor-belt to push loose soil out of their tunnel. In some ant species, caste specialisation turns individuals into architectural elements. Some species of the genus *Colobopsis* build their nests inside free trunks, and the tiny hole to the nest is closed by the head of a member of a caste that has specialised to perform as doorkeepers. This caste develops enlarged flat heads that fit the hole exactly, and the flattened end of the head adopts the texture and colour of the tree bark. The doorkeeper admits only members of its community, which it can recognise by smell. If a larger hole needs to be closed, the ants use a material like papier-mâché to fit the edges of the hole to the size of the doorkeeper's head, or several doorkeeper ants collaborate to close the opening.

In the American desert ant *Myrmecocystus*, some workers specialise to become living plant-juice jars. Their bodies are filled with honey, and they remain immobile and suspended from the ceiling of the nest to provide food for the other members of the ant society.

The mouthbrooding of certain species of jawfishes and the brooding of eggs and nursing of tadpoles in the vocal sac by the Darwin frog (*Rhinoderma darwini*) are further examples of living architecture. The male emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*), which is about one metre tall when standing upright, incubates a single egg for two months on his webbed feet, covered from above with a brooding pouch, which is a deep fold hanging down from the abdomen of the bird; the penguin's feet have a dense network of blood vessels that keep the egg warm during the Antarctic winter.

Ready-made shelters

A time and energy saving solution to the problem of housing is to take advantage of a ready-made shelter built by another animal. The hermit crab (*Paguridae*) searches for abandoned shells of suitable size. As the crab keeps growing, it moves into successively bigger shelters. The hermit crab has been living in the cavities of spiralling snail-shells so long that the rear part of its body has lost the hard armour typical to crustaceans, and it has a soft skin instead, which has even adapted the spiral shape of its shelter. The snail-shell house of the crab is often further protected by coral polyps attached to its surface.

The mason bee (*Osmia bicolor*) uses an empty snail-shell to shelter her offspring. She deposits bee-bread in the uppermost whorls of the shell, and lays her egg on this future food of the larva. She closes the passage with a wall made of chewed-up leaves leaving enough air space for the growing larva. The bee proceeds to fill the remaining whorls with small pebbles, and closes the

con un tunnel di volo di sessanta centimetri si trova sotto, ma c'è una finta entrata nella parte centrale per sviare i predatori.

Alla lista delle invenzioni animali si potrebbero aggiungere i sistemi di autostrade delle formiche, le gallerie delle termiti, le scale e le rampe della termite *Apicotermes*, il pozzo di comunicazione verticale della torre di carta costruita dalle vespe del genere *Chartergus*, e le minuscole finestre fatte di saliva indurita nel nido di carta della vespa tropicale (*Metapolybia pediculata*). È probabile, tuttavia, che queste aperture non vengano pensate per illuminare l'interno, ma siano un escamotage per mimetizzarsi: le macchie trasparenti della finestra fanno scomparire il nido nell'ombra della vegetazione.

Dal canto suo lo scarabeo (*Scarabaeus sacer*) trasporta nel suo deposito grumi di sterco arrotolandoli in palline.

Animali come architettura

Diverse specie animali hanno sviluppato adattamenti fisiologici che assolvono a funzioni simili a quelle a cui altre specie hanno risposto con delle costruzioni esterne; gli animali stessi o parti dei loro corpi si sono trasformati in una sorta di architettura vivente.

Un protozoo, *Diffugia*, ha messo a punto un sistema unico di ingestione di elementi da costruzione insieme al proprio cibo. Nel suo protoplasma fluido ingoia insieme al cibo particelle non digeribili, per esempio granelli di sabbia e, di solito, piccole alghe. I granelli di sabbia migrano dall'interno del protoplasma alla superficie esterna e, con una secrezione del protozoo, si cementano formando un involucro protettivo a forma di urna. I granelli sono incastonati con grande precisione, il che implica necessariamente l'esistenza di un qualche sistema di selezione e orientamento.

Alcune specie di formiche non costruiscono affatto un nido vero e proprio, perché si spostano da un luogo all'altro come nomadi. Nel genere sudamericano *Eciton*, per esempio, l'intera colonia si raggruppa per la notte in un ammasso sferico per circondare e proteggere la regina e la sua covata al centro; la colonia stessa forma il suo nido protettivo. Un ammasso di formiche soldato può raggiungere il metro cubo.

Le formiche tessitrici (*Oecophylla*) si uniscono l'una all'altra e realizzano dei ponti viventi per accostare i bordi distanti delle foglie al fine di avvolgere con esse la cavità del nido; squadre di lavoro di eterocefali glabri, o talpe senza pelo, allineati uno dopo l'altro, formano un nastro trasportatore vivente per portare la terra da rimuovere fuori dal tunnel.

In alcune specie di formiche, la specializzazione in caste trasforma gli individui in elementi architettonici. Certe specie del genere *Colobopsis* costruiscono i loro nidi all'interno di tronchi

end of the tube with another wall of leaf pulp. Finally, she collects dry stalks, blades of grass or pine needles which she piles up to form a concealing cover over the shell.

Some solitary wasps do not dig nest burrows, but instead use natural cavities, such as abandoned beetle borings, or the tubular cavities of sumac twigs. These wasps are called 'renters' in reference to their habit of taking advantage of a ready-made niche. 'Renters' often take over cavities used earlier by another wasp species, or even drive away a wasp or a bee from its nest.

An African wasp (*Odynerus vespiformis*) takes drops of water to the abandoned empty mud nests of other wasp species to break down the building material and re-fashion it into its own nest.

Pompilid wasps attack trap-door spiders and make use of their silk-lined tubular burrows; in the course of evolution, many species of Pompilids which habitually nest in the burrows of trap-door spiders have even lost the combs on their legs used to scrape earth or sand, which other sand-burrower wasps possess.

The habit of the cuckoo of laying her eggs in nests of other bird species, and getting away with both building a nest and nursing her offspring, is well known. But this is also a common strategy among parasitoid wasps. The manyspotted catfish (*Synodontis multipunctatus*) has also learned to take advantage of mouthbrooders by laying her eggs among those of a mouthbrooding fish.

Yet another way of avoiding their own making nests is used by gall-wasps and other gall-producers, including aphids, mites, moths, beetles, dipterous or two-winged flies and midges. A secretion of some kind triggers off gall-formation in the plant tissue, which develops into a protective shelter for the insect eggs and eventually for the larvae.

Functions of animal constructions

Animal constructions perform a multitude of functions. The functions of many constructions, or their constituent parts, seem obvious, but the causalities are frequently very difficult to demonstrate experimentally. Michael H. Hansell gives a classification of functions in his thorough book on animal architecture; literature on animal building behaviour suggests that some further functions could be added to his categories (my additions in *italics*):

1. PROTECTION FROM THE PHYSICAL ENVIRONMENT

- Temperature control
- *Water management*
- Humidity control
- Gaseous exchange and ventilation
- *Waste management*

cavi, e il minuscolo foro del nido viene chiuso dalla testa di un membro di una casta che si è specializzata per svolgere il ruolo di portiere. Tale casta sviluppa teste piatte allargate che si adattano perfettamente al foro, e l'estremità appiattita del capo acquisisce la tessitura e il colore della corteccia dell'albero. Il portiere ammette esclusivamente i membri della propria comunità, che riconosce dall'odore. Se deve venire occluso un foro più grande, le formiche utilizzano del materiale tipo la cartapesta per adattare i bordi del buco alle dimensioni della testa del portiere, oppure diverse formiche portiere collaborano per chiudere l'apertura.

Nella formica del deserto americano *Myrmecocystus*, alcune operaie si specializzano per diventare barattoli viventi di nettare vegetale. I loro corpi sono ricoperti di miele, e rimangono immobili e sospesi alla volta del nido per rifornire di cibo gli altri membri della comunità delle formiche. L'incubazione orale di alcune specie di pesci opistognati e la cova delle uova e la cura dei girini nella sacca orale della rana di Darwin (*Rhinoderma darwini*) sono altri esempi di architettura vivente. Il maschio del pinguino imperatore (*Aptenodytes forsteri*), alto circa un metro quando è in posizione eretta, cova per due mesi un solo uovo in una tasca incubatrice ventrale, che è una profonda piega pendente dall'addome dell'uccello e che va a ricoprire dall'alto i suoi piedi palmati, i quali sono dotati di una fitta rete di vasi sanguigni capaci di mantenere l'uovo al caldo durante l'inverno antartico.

Rifugi pronti all'uso

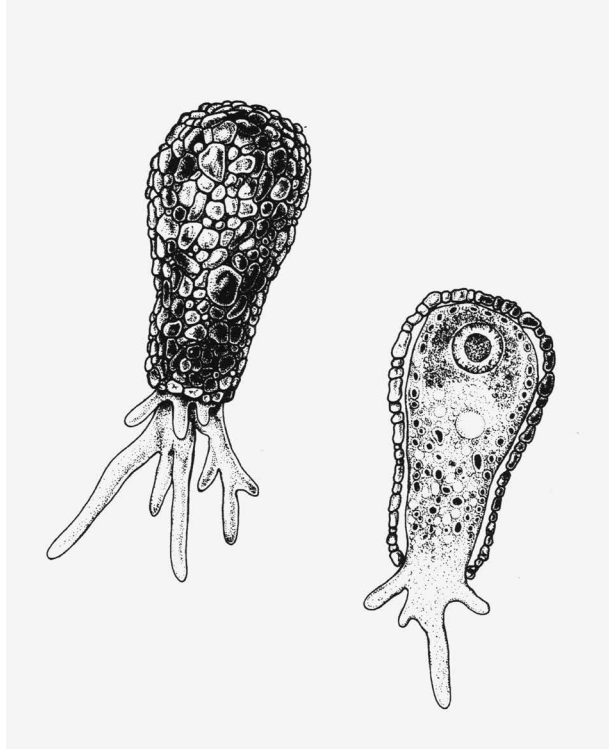
Una soluzione che permette di risparmiare tempo ed energia al problema della tana è quella di approfittare di un rifugio già pronto costruito da un altro animale. Il granchio eremita (*Paguridae*) cerca conchiglie abbandonate di dimensioni adeguate, poi, man mano che cresce, trasloca in rifugi sempre più grandi. Il paguro ha vissuto nelle cavità delle spirali dei gusci delle chioccioline così a lungo che la parte posteriore del suo corpo ha perso il carapace duro tipico dei crostacei per assumere invece una pelle morbida, che ha perfino adattato alla forma a spirale del proprio rifugio. Il guscio di chiocciola abitato dal granchio come tana è spesso ulteriormente protetto da polipi di corallo attaccati alla sua superficie.

L'ape muratrice (*Osmia bicolor*) utilizza un guscio di lumaca vuoto per proteggere la prole, e lì, nei giri più profondi, vi deposita del pane d'api, e su questo, che sarà il cibo della larva, depone l'uovo. Occlude il passaggio con un muro di foglie masticate, lasciando però spazio a sufficienza per la crescita della larva. L'ape procede a riempire le volute rimanenti con dei sassolini, poi chiude l'estremità del tubo con un'altra parete di polpa di foglie. Infine, raccoglie steli secchi, fili d'erba o aghi di pino che ammucchia per formare una copertura con la quale occultare il guscio.



49. The lesser swallow-tailed swift (*Panyptila cayennensis*) builds a clay nest provided with a 60-centimetre-high vertical flight tube under an overhanging rock. The bird builds a mock entrance that ends blind in the middle section of the nest.

Il rondone minore (*Panyptila cayennensis*) costruisce sotto una roccia sporgente un nido di argilla con un tubo di accesso verticale lungo 60 cm. Nella sezione centrale del nido l'uccello realizza inoltre una finta entrata che termina in un cul-de-sac.



50. A protozoan, *Diffugia*, builds a stone case from grains of sand which it incorporates with its food.

Un protozoo, *Diffugia*, costruisce un astuccio di pietra con granelli di sabbia presenti nel cibo di cui si nutre.



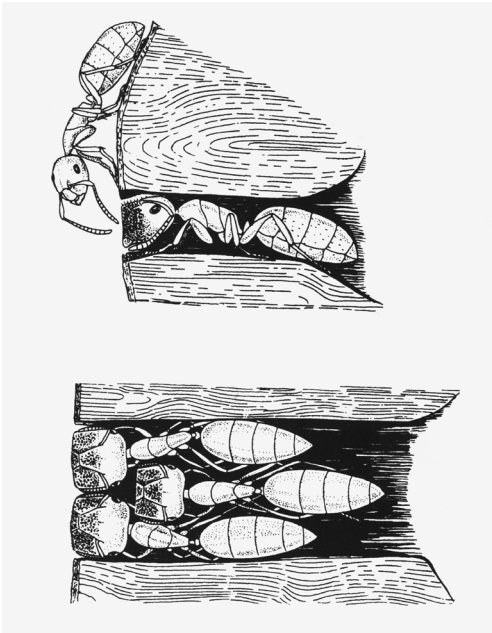
51.
The scarab beetle (*Scarabeus sacer*) invented the wheel millions of years before Man. The scarab rolls balls of dung into its storage burrow.

Lo scarabeo (*Scarabeus sacer*) ha inventato la ruota milioni di anni prima dell'uomo. Esso fa rotolare delle palle di sterco nella propria tana.



52.
Weaver ants (*Oecophylla*) join on to each other to form living bridges during the construction of their leaf nest.

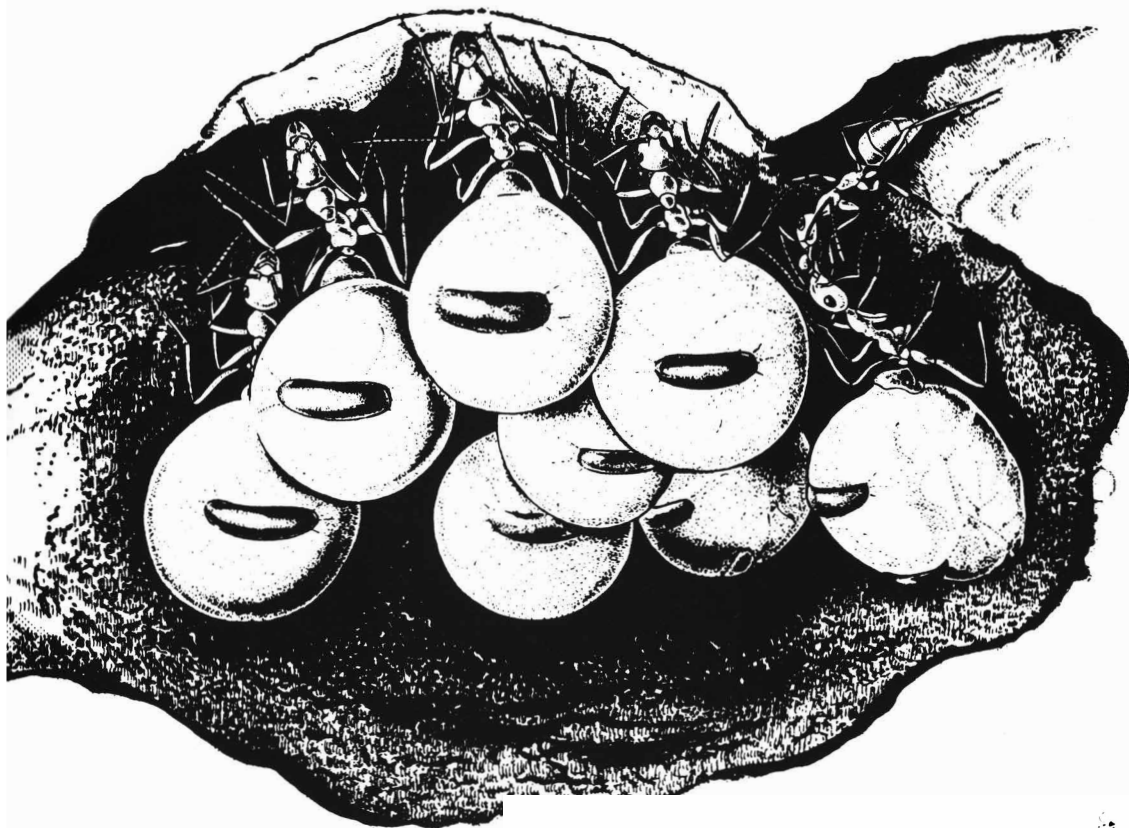
Le formiche tessitrici (*Oecophylla*) si uniscono le une alle altre per formare ponti viventi quando realizzano il proprio nido di foglie.



53-54

Certain individual *Colobopsis* ants develop flattened heads which acquire the color and texture of the tree they inhabit, and specialise as doorkeepers. The doorkeeper recognises members of the colony by smell. If the hole is too large, the doorkeepers shape it to fit their heads using a material like papiermâché, or several doorkeepers collaborate.

Alcune formiche *Colobopsis* sviluppano delle teste appiattite, che acquisiscono il colore e la tessitura dell'albero in cui vivono, e si specializzano come portieri. Il guardiano riconosce i membri della colonia dall'odore. Se il foro della tana è troppo largo, i portieri lo modellano per adattarlo alla propria testa utilizzando un materiale simile alla cartapesta, altrimenti diversi portieri collaborano assieme per chiuderlo.

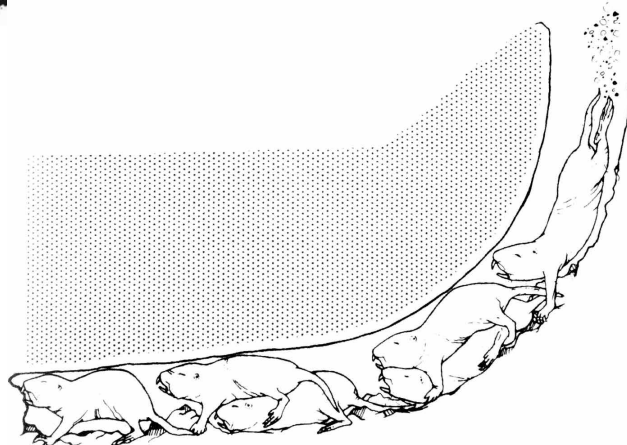


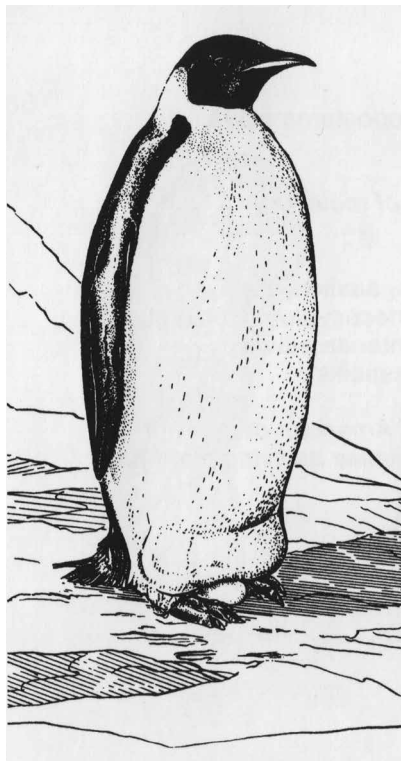
55.
Some workers of the American desert ant *Myrmecocystus* specialise as living plant-juice jars.

Alcune operaie della formica americana del deserto (*Myrmecocystus*) si sono specializzate come barattoli viventi di succo vegetale.

56.
Living conveyor-belt of mole-rats.

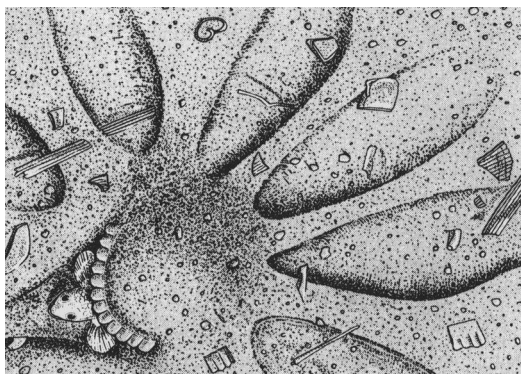
Un nastro trasportatore vivente formato da eterocefali glabri.





57.
The one-metre tall male emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*) incubates a single egg for two months on its webbed feet, covered from above with a brooding pouch, and does not need to build any nest at all.

Il pinguino imperatore maschio (*Aptenodytes forsteri*), alto un metro, incuba un solo uovo per due mesi sulle proprie zampe palmate. L'uovo è protetto dall'alto dalla tasca incubatrice ventrale, di conseguenza il pinguino non ha bisogno di costruire alcun nido.



58.
The sand-goby (*Gobius minutus*) under its sand-covered shell shelter. The radiating depressions are areas from which the fish has heaped sand over the shell house with its fins.

Il ghiozzetto minuto (*Gobius minutus*) sotto il suo rifugio di conchiglie ricoperto di sabbia. Le infossature a raggiera sono le aree da cui il pesce con le proprie pinne ha spostato la sabbia sopra le conchiglie.



59.
The mason bee *Osmia bicolor* uses an empty snail shell to shelter her offspring. She deposits bee-bread in the uppermost whorls and lays her egg next to the food store. L'ape muratrice *Osmia bicolor* utilizza un guscio di mollusco vuoto per proteggere la prole. Deposita del polline crudo nelle volute del guscio poste più in alto e depone il proprio uovo vicino alla dispensa del cibo.



60.

Gall-wasps and other gall-producers, including aphids, mites, moths, beetles and midges, trigger off gall-growth in plants by a secretion which develops into a protective shelter for the insect eggs and eventually for larvae. They can also be inhabited by other animals. A gall produced by *Pachypappa populi* aphid on an oak (*Quercus robur*) leaf.

Le vespe cinipidi e altri produttori di galla, tra cui afidi, acari, falene, coleotteri e moscerini, grazie a una secrezione, innescano nella pianta la crescita della galla, che si sviluppa in un rifugio protettivo per le uova e infine per le larve. Le galle possono venire occupate anche da altri animali. Nella foto una galla prodotta dall'afide *Pachypappa populi* su una foglia di farnia (*Quercus Robur*).

2. PROTECTION FROM PREDATORS

- Avoidance of detection or recognition
- Mechanical protection

3. FOOD GATHERING

- Cultivation
- Feeding
- Leaf-rolling
- Prey capture
- *Food storage*

4. COMMUNICATION

- Structures which assist transmission
- Structures which are signals
- *Mate selection and reproduction*

5. DECORATION

1. Protection from the physical environment

Animal artefacts, particularly among vertebrates and birds, are often built mainly to protect the offspring. Most often their nests have no other purpose, although old nests are used as sleeping quarters by some species. A few species build nests for roosting, and these are often clearly differentiated from the breeding nests.

Among the insects, only the less social species build structures solely for the brood. In nearly all the advanced social insects the nest structures accommodate and protect the entire colony with all phases of the species' life cycle.

1.1 *Temperature control*

Temperature control is, of course, well demonstrated by numerous types of bird nests, which utilise layers of moss, lichens, plant wool, feathers etc. to create both the structure and thermal insulation of the layered construction. The insulating qualities of the nest of the crossbill (*Loxia*) are so efficient that the small bird is able to incubate her eggs during the coldest months of the Nordic winter, and the brooding bird in her nest can be covered with snow.

Alcune vespe solitarie non scavano tane per il proprio nido, ma ricorrono invece a delle cavità naturali, come le buche abbandonate dei coleotteri, o come i fori tubolari dei ramoscelli di sommacco. Queste vespe sono chiamate “locatrici” in riferimento alla loro abitudine di approfittare di una nicchia già bell’è pronta. Le “inquiline” spesso occupano cavità utilizzate in precedenza da un’altra specie di vespa, o addirittura scacciano una vespa o un’ape dal proprio nido.

Una vespa africana (*Odynerus vespiformis*) trasporta gocce d’acqua nei nidi di fango vuoti e abbandonati di altre specie di vespe per sciogliere il materiale da costruzione e riadattarlo come proprio nido.

Le vespe pompilidi attaccano i ragni *Nemesia cementaria* e utilizzano le loro tane tubolari foderate di seta; nel corso dell’evoluzione molte specie di pompilidi che nidificano abitualmente nelle tane dei ragni *Nemesia cementaria* hanno perfino perduto i pettini sulle zampe, utilizzati per raschiare la terra o la sabbia, di cui sono invece ancora dotate altre vespe scavatrici.

L’abitudine del cuculo di deporre le uova nei nidi di altre specie di uccelli, e di evitare sia la costruzione del nido sia l’accudimento della prole, è ben nota. Ma questa è una strategia comune anche tra le vespe parassitoidi. Pure il pesce gatto cuculo (*Synodontis multipunctatus*) ha imparato ad approfittare dei ciclidi incubatori orali (conosciuti con il nome inglese di *mouthbrooders*, N.D.T.) deponendo tra quelle loro le proprie uova.

Un ulteriore modo per evitare la costruzione dei nidi è stato messo a punto dai cinipidi e da altri produttori di galle, tra cui afidi, acari, falene, coleotteri, mosche (*Diptera Linnaeus*) e moscerini. Una secrezione di qualche tipo innesca la formazione di galla nel tessuto della pianta, la quale si sviluppa in un rifugio protettivo per le uova dell’insetto e infine per le larve.

Funzioni delle costruzioni animali

Le costruzioni animali svolgono una moltitudine di funzioni. Le funzioni di molte costruzioni, o delle loro parti costitutive, sembrano ovvie, ma le causalità sono spesso molto difficili da dimostrare sperimentalmente. Nel suo approfondito libro sull’architettura animale, Michael H. Hansell propone una classificazione delle funzioni; la letteratura sul comportamento delle costruzioni animali suggerisce che alcune ulteriori funzioni potrebbero essere aggiunte alle sue categorie (le mie sono in *italico*).

1. PROTEZIONE DALL’AMBIENTE FISICO

- Controllo della temperatura
- *Gestione dell’acqua*
- Controllo dell’umidità

Occupied nests of the sociable weaverbird (*Philetairus socius*) have been measured to maintain an internal temperature which is more than 20 °C above the external temperature in the Kalahari Desert of South Africa, where night-time winter temperatures can fall as low as to -10 °C.

The snow shelters of the white-tailed ptarmigan (*Lagopus lagopus*) and the redpoll (*Acanthis flammea*) in Lapland are examples of animal shelters reminiscent of the Eskimo igloo. An empty cavity of the ptarmigan's snow shelter has been measured to maintain a temperature 7-8 °C higher than external temperatures. The similar snow shelter of the Nordic hare seems to be constructed as a protection against predator birds rather than as a means of controlling temperature. Truly monumental nests for temperature control are built by some Megapode birds, as the Mallee fowl (*Leipoa ocellata*) of Australia. These bird species build a compost heap that produces the heat necessary for the development of their eggs through fermentation; the nest may be five metres high and twelve in diameter. The cock keeps checking the temperature with his beak and he either ventilates the heap or piles it up higher to maintain the precise temperature of 34 °C. The bird's temperature measurement is accurate to within 1 °C. In later summer, when the sun is low, the bird digs the eggs up to be heated directly by sun.

The compass termites (*Amitermes meridionalis*) of Australia build their slab-like nests, which may be 3.7 metres high, 3 metres wide, and about 1 metre thick. They are oriented exactly in a north-south direction in order to minimise noon heat and to maximise early morning and late afternoon warmth through both shape and orientation. Termites move from one side of the nest to the other to maintain optimum temperature in their immediate surroundings. It has been suggested that the wedge shape may have its primary function in aiding gas exchange by increasing the ratio of surface area to mass. The parallel orientation of the termite slabs reminds one of functionalist residential schemes. But the termites do not need a theory or an instrument; they are able to sense the earth's magnetic field and orient their buildings accordingly. This assumption is, however, controversial among scholars.

The layered paper nests of wasps enclose layers of immobile air as an efficient thermal insulation. But wasps have also devised a proper heating system: in the area of the breeding combs the temperature is kept constant at about 30 °C by a special group of workers, which act as living heaters, engaged in intense muscular activity by rapidly contracting and stretching their abdomens. But as it gets too hot on warm days, wasps carry in water to moisten the cells and to cool them by evaporation.

Bees have to create and maintain the 35 °C temperature needed for the secretion of wax. When the bees start to build their wax combs they first attach themselves to each other in chains to form a spherical cluster within which they are able to obtain the required temperature. They use their

- Scambio di gas e ventilazione
- *Gestione dei rifiuti*

2. PROTEZIONE DAI PREDATORI

- Evitare l'individuazione o il riconoscimento
- Protezione meccanica

3. RACCOLTA DEL CIBO

- Coltivazione
- Alimentazione
- Arrotolamento delle foglie
- Cattura delle prede
- *Conservazione del cibo*

4. COMUNICAZIONE

- Strutture per comunicare
- Strutture segnalitiche
- *Selezione del compagno e riproduzione*

5. DECORAZIONE

1. Protezione dall'ambiente fisico

Gli artefatti animali, in particolare tra i vertebrati e gli uccelli, sono spesso costruiti soprattutto per proteggere la prole. Il più delle volte i loro nidi non hanno altri scopi, anche se quelli vecchi vengono utilizzati da alcune specie come alloggi per dormire. Certe specie realizzano dei nidi per appollaiarsi, e questi spesso si differenziano chiaramente da quelli destinati alla riproduzione. Tra gli insetti, solo le specie meno sociali costruiscono strutture esclusivamente per la covata. In quasi tutti gli insetti altamente sociali le strutture dei nidi ospitano e proteggono l'intera colonia in tutte le fasi del ciclo vitale della specie.

1.1 Controllo della temperatura

Il controllo della temperatura è, naturalmente, ben dimostrato da numerosi tipi di nidi di uccelli, che utilizzano strati di muschio, licheni, lana vegetale, piume, ecc. per creare sia la struttura sia l'isolamento termico della costruzione realizzata a strati. Le qualità isolanti del nido del crociere

body heat, ventilating by beating their wings, or bring water to cool the nest through evaporation. The honeycombs are inclined at an angle of exactly 13° to prevent the honey from dripping out. In the hot volcanic areas of Salerno, Italy, bees have been observed to mix propolis (bee's glue) into their wax in order to raise its melting point. On the other hand, certain small birds on volcanic islands take advantage of the available natural heat. Instead of building nests in forests and laboriously incubating their eggs, as their relatives do elsewhere, they dig burrows into the loose tuff soil to create an automatic incubator; this is an example of flexibility in animal behaviour. The surface of the nest of wood ants (*Formica rufa*) has numerous holes which serve as entrances and ventilation holes; at night and in cold weather the ants plug the holes to keep heat in. The workers also keep the slope of the nest at the right angle to obtain maximum amount of solar heat. The ants bring extra warmth into their nests as live heaters by basking in the sun in large numbers and taking the heat energy collected in their bodies into the nest.

1.2 Water management

The nests of ants and the covered nests of weavers and other birds, as well as those of termites, have a conical shape that effectively directs rainwater away from the nest. The nests of certain termite species are raised above the ground on short columns and covered with a projecting roof, or a series of roofs on top of each other, resembling a pagoda construction. The aim is to eliminate the damage caused by tropical rains.

The yellow-jacket hornet (*Vespa affinis*) shapes its nest as a steep cone to run off rain from the top of the nest; the shape and fluting of the nest surface resemble the conical clay houses of the human Mousgoum tribe in Chad.

Shortage of water may be a more essential problem. Three species of tenebrionid beetle, living in the arid coastal region of the Namibian desert, construct shallow trenches as dew traps. The trenches are built when the weather turns to fog, and oriented parallel to the wind direction and provided with raised edges; the arrangement seems to encourage precipitation of moisture. The Australian mouse (*Leggadina hermannsburgensis*), which lives in a dry and sandy habitat, covers a large area around its burrow with pebbles, apparently for the purpose of increasing the formation of dew as a water supply. The *Cyrtophora* spiders use the debris of their prey as dummies to divert intruding enemies; but the dummies are also used as cisterns to collect water during rain.

Termites have tender skins and have to maintain fairly constant temperature and humidity levels in their nests; in the nests of *Macrotermes* the humidity level is between 89 and 99 per cent. Termites also need water for their fungus gardens and for making mortar. In dry regions termites

(*Loxia*) sono così efficienti che il piccolo uccello è in grado di incubare le uova durante i mesi più freddi dell'inverno nordico e, mentre cova nel nido, può perfino venire ricoperto dalla neve. È stato misurato che i nidi occupati dal passero repubblicano (*Philetairus socius*) mantengono una temperatura interna superiore di oltre venti gradi centigradi rispetto a quella esterna nel deserto del Kalahari in Sud Africa, dove le temperature invernali notturne possono precipitare fino ai dieci gradi sottozero.

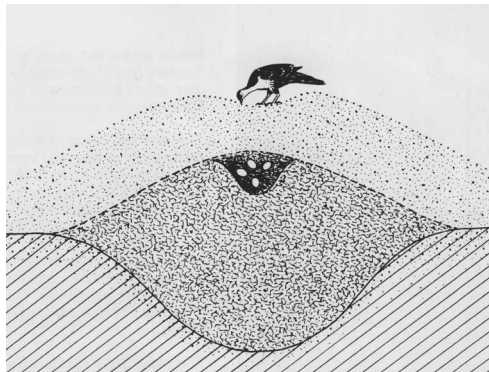
I rifugi di neve della pernice bianca nordica (*Lagopus lagopus*) e dell'organetto (*Acanthis flammea*) in Lapponia sono esempi di tane animali che ricordano l'igloo eschimese. È stato misurato che una cavità vuota del rifugio di neve della pernice bianca nordica mantiene una temperatura di sette/otto gradi superiore a quella esterna. Il rifugio di neve della lepre nordica, simile a quello della pernice, sembra essere costruito come protezione contro gli uccelli predatori piuttosto che come mezzo di controllo della temperatura. Nidi veramente monumentali finalizzati al controllo della temperatura vengono realizzati da alcuni uccelli Megapodidi, come il fagiano australiano (*Leipoa ocellata*). Tali specie di uccelli costruiscono un cumulo di compost capace di produrre attraverso la fermentazione il calore necessario per lo sviluppo delle uova; il nido può raggiungere i cinque metri di altezza e avere un diametro di dodici. Il maschio di questo tipo di fagiano controlla in continuazione la temperatura con il becco e arieggia il cumulo o lo ispessisce per mantenere i trentaquattro gradi centigradi esatti. L'uccello misura la temperatura con la precisione di un grado centigrado. Nella tarda estate, quando la luce è bassa sull'orizzonte, il fagiano dissotterra le uova per farle riscaldare direttamente dal sole.

Le termiti magnetiche (*Amitermes meridionalis*) dell'Australia costruiscono nidi simili a lastre che possono essere alti tre metri e settanta, larghi tre e spessi circa un metro. Essi sono disposti esattamente in direzione nord-sud per minimizzare il calore di mezzogiorno e per massimizzare quello del primo mattino e del tardo pomeriggio sia attraverso la forma che l'orientamento. Le termiti si spostano da un lato all'altro del nido per mantenere ottimale la temperatura nelle loro immediate vicinanze. È stato suggerito che la forma a cuneo possa assolvere la funzione principale di favorire lo scambio di gas aumentando il rapporto fra superficie e massa. L'orientamento parallelo delle lastre del nido ricorda gli schemi residenziali funzionalisti, solo che le termiti non hanno bisogno di una teoria o di uno strumento, sono in grado di percepire il campo magnetico terrestre e di orientare i loro edifici di conseguenza, anche se questa è un'ipotesi controversa fra gli studiosi.

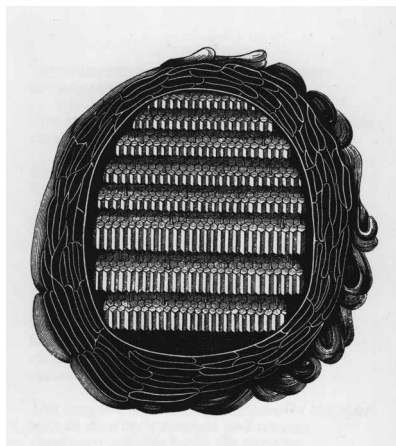
I nidi di carta stratificata delle vespe racchiudono strati di aria ferma che funziona da efficiente isolamento termico. Ma le vespe hanno pure escogitato un vero e proprio sistema di riscaldamento: nella zona dei favi riproduttivi la temperatura è mantenuta costante a circa trenta gradi



61.
A malleefowl (*Leipoa ocellata*)
on its huge nest mound.
Un fagiano australiano (*Leipoa ocellata*) sul suo enorme nido.



62.
The *Megapodiidae* birds incubate their eggs in gigantic earth nests by heat generated through a process of fermentation. The bird can measure the nest temperature of 34 °C to one degree of accuracy. The bird regulates the temperature by either ventilating the nest chamber or piling more earth on the nest.
Gli uccelli *Megapodiidae* incubano le uova in giganteschi nidi di terra grazie al calore generato attraverso un processo di fermentazione. L'uccello può misurare la temperatura del nido di 34 °C con la precisione di un grado, e la regola ventilando la camera del nido o accumulando più terra sopra di esso.



63.
The layers of paper in the wasps' nest create pockets of air.
Gli strati di carta nel nido di vespe creano sacche d'aria.



64.
Apis mellifera fans the hive to keep it cool.
Apis mellifera arieggia l'alveare per mantenerlo fresco.

centigradi da uno speciale gruppo di operaie, che funzionano come termosifoni viventi, impegnato in un'intensa attività muscolare consistente nel contrarre e allungare rapidamente gli addomi; quando però nei giorni caldi la temperatura si alza, le vespe portano dell'acqua per inumidire le celle e per farle raffreddare grazie al processo di evaporazione.

Le api devono generare e mantenere la temperatura di trentacinque gradi centigradi necessaria per la secrezione della cera, tant'è che, quando iniziano a costruire i favi, per prima cosa si attaccano l'una all'altra a formare delle catene così da costituire un ammasso sferico all'interno del quale sono in grado di raggiungere la temperatura richiesta. Utilizzano il calore corporeo per scaldare il favo, il battito d'ali per ventilarlo, l'acqua per raffreddarlo attraverso il processo di evaporazione. I favi sono inclinati esattamente di tredici gradi per evitare che il miele fuoriesca. In Italia, nelle calde zone vulcaniche di Salerno si è osservato che le api mescolano la loro cera con il propoli per aumentarne il punto di fusione. Di contro, alcuni piccoli uccelli sulle isole vulcaniche approfittano del calore naturale disponibile: invece di costruire nidi nelle foreste e incubare faticosamente le uova, come fanno i loro parenti altrove, scavano delle tane nel terreno friabile di tufo per realizzare un'incubatrice automatica; si tratta di un esempio di flessibilità nel comportamento animale.

La superficie del nido delle formiche rosse del legno (*Formica rufa*) ha numerosi buchi utilizzati sia come ingressi sia come fori di areazione; di notte e con il freddo vengono tappati per mantenere il calore all'interno. Le operaie fanno anche in modo che la pendenza del nido rimanga ad angolo retto per beneficiare della massima quantità di calore solare. Le formiche introducono nei nidi del calore supplementare comportandosi come termosifoni viventi: infatti si crogiolano numerose al sole, poi portano l'energia termica assorbita nei propri corpi all'interno.

1.2 Gestione dell'acqua

I nidi delle formiche e i nidi coperti dei tessitori e di altri uccelli, così come quelli delle termiti, hanno una forma conica che fa defluire efficacemente l'acqua piovana lontano dal nido. I termitai di alcune specie di termiti sono sollevati da terra con colonne tozze e sono coperti da un tetto sporgente o da una serie di tetti sovrapposti simili a una costruzione a pagoda. Lo scopo è di evitare i danni causati dalle piogge tropicali.

La *Vespa affinis* modella il proprio nido come un cono ripido per far defluire la pioggia dalla cima; la forma e la scanalatura della superficie del nido ricordano le case coniche di argilla della tribù dei Mousgoum in Ciad.

La carenza d'acqua può essere un problema più importante. Tre specie di coleotteri tenebrionidi, che vivono nell'arida regione costiera del deserto della Namibia, costruiscono trincee poco

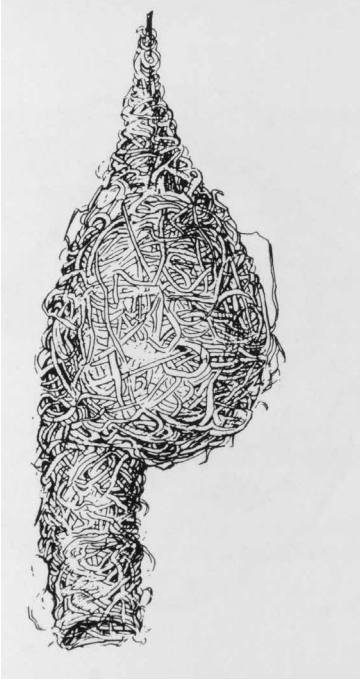


65.
The layered roofs and long eaves of the nests of *Cubitermes* termites are a protection against tropical rains.

I tetti a strati e le lunghe gronde dei nidi delle termiti *Cubitermes* sono una protezione contro le piogge tropicali.



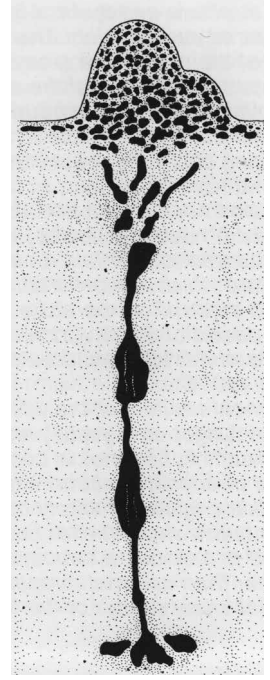
66.
Mushroom-shaped nests, Australia.
Nidi di termita a forma di fungo, Australia.



67.
The conical shape of roofed bird nests directs water away from the nest.
 La forma conica della copertura dei nidi d'uccello fa defluire l'acqua lontano dal nido.



68.
The shape of the termite nest efficiently directs rainwater away from the nest.
Dindifelo, Senegal, Africa.
 La forma del termitaio fa defluire efficacemente l'acqua piovana lontano dal nido. Dindifelo, Senegal, Africa.



69.
A nest and a deep-well extending to the water table of the African termite *Trinervitermes*, which lives in arid regions.
 Un termitaio e un pozzo profondo, che si spinge fino alla falda acquifera, realizzato dalla termite africana *Trinervitermes*, che vive in regioni aride.

dig to incredible depths to reach the ground-water level; some desert termites have been found to make wells forty metres deep in the ground.

The beaver dam is a commonly known example of animal construction to control the water level in streams and rivers to suit the habitat requirements of the beaver.

1.3 Water-proofing and humidity control

Experimental evidence available on the humidity controlling properties of animal constructions is scarce, but the need to control humidity level is obvious.

Hummingbirds' nests, for instance, are frequently covered on the outside with cobwebs and lichens, which form a fairly waterproof surface. The plasterer bees (*Colletes*) and yellow-faced bees (*Hylaeus*) are among the most primitive bees; they build their breeding chambers in hollow twigs or holes in the ground, lining the walls of their nest cavity with wallpaper made of an oral secretion. This fluid hardens into a waterproof film resembling cellophane; the lining both prevents their collected nectar from leaking into the surrounding material and keeps away dampness and mold. The carder bee (*Bombus pascuorum*) first levels the nest site, then cleans it and covers the floor of the nest with a layer of wax, which protects it from damp below.

The stone bumblebee (*Bombus lapidarius*), which builds subterranean nests in mouse holes or other cavities, protects her comb from damp above by constructing a wax cover.

The leaf-cutter bee (*Megachile*) lines her breeding tube with oval pieces cut from leaves and folded into a thimble-shaped breeding cell; the leaf wall functions as both a food-barrel and a moisture barrier.

Certain other ant species protect their nests from moisture by impregnating the cell walls with a glandular secretion, or coating them with a wax-like material.

An oral secretion lining (a spider-like thread) is essential in the cocoons of many moths overwintering in cold conditions: it prevents moisture from intruding and prevents the formations of ice crystals, which would be lethal for the pupa.

Many animals need to maintain a certain minimum humidity level for their survival. The high humidity level required by termites has already been mentioned.

1.4 Ventilation and gas exchange

Animals living in enclosed spaces must arrange for the exchange of gases. For the sea turtle's eggs, for instance, deposited in a hole dug in sand, gas exchange through diffusion is essential, and the animal knows how to fill in her egg pit accordingly, leaving air spaces in the sand around the eggs. Other species have devised more elaborate solutions: in the worm *Chaetopterus* water flow is

profonde per intrappolare la rugiada. Le trincee vengono edificate quando c'è nebbia, sono orientate parallelamente alla direzione del vento e dotate di bordi rialzati; la loro disposizione sembra incoraggiare la precipitazione dell'umidità. Il roditore australiano (*Leggadina hermannsbergensis*), che vive in un habitat secco e sabbioso, copre con dei ciottoli una vasta area intorno alla tana, a quanto pare allo scopo di aumentare la formazione di rugiada da utilizzare come riserva d'acqua. I ragni *Cyrtophora* riciclano i residui delle loro prede come manichini per sviare i nemici invadenti; ma i manichini vengono anche impiegati come cisterne per raccogliere l'acqua quando piove. Le termiti hanno un tegumento delicato e devono mantenere livelli di temperatura e di umidità abbastanza costanti nei nidi; nei termitai di *Macrotermes* il livello di umidità è tra l'ottantanove e il novantanove per cento. Le termiti necessitano pure di acqua per i loro giardini di funghi e per fare la malta, tant'è che nelle regioni aride scavano fino a profondità incredibili per raggiungere il livello della falda acquifera. Alcune termiti del deserto sono state trovate intente a scavare pozzi profondi quaranta metri.

La diga del castoro è un esempio comunemente noto di costruzione animale per controllare il livello dell'acqua dei ruscelli e dei fiumi in modo da soddisfare le esigenze dell'habitat del roditore.

1.3 Impermeabilizzazione e controllo dell'umidità

Le prove sperimentali disponibili sulle proprietà di controllo dell'umidità delle costruzioni animali sono scarse, ma la necessità di sorvegliare il livello dell'umidità è ovvio.

I nidi dei colibrì, per esempio, all'esterno sono spesso ricoperti di ragnatele e licheni, che formano una superficie abbastanza impermeabile. Le api stucatrici (*Colletes*) e le api mascherate (*Hylaeus*) sono tra le più primitive, costruiscono le loro camere di riproduzione in rami cavi o buchi nel terreno rivestendo le pareti della cavità del nido con una carta da parati fatta con una secrezione orale, la quale si indurisce in una pellicola impermeabile che assomiglia al cellofan; il rivestimento impedisce che il nettare raccolto si disperda nel materiale circostante, inoltre tiene lontane l'umidità e la muffa.

Il bombo dei pascoli (*Bombus pascuorum*) prima livella il sito del nido, poi lo pulisce, infine ricopre il pavimento con uno strato di cera così da proteggerlo dall'umidità sottostante. Il bombo della pietra (*Bombus lapidarius*), che costruisce nidi sotterranei nei buchi dei topi o in altre cavità, protegge il favo dall'umidità proveniente dalla superficie realizzando un involucro di cera.

L'ape tagliafoglie (*Megachile*) foderla camera di allevamento dalla forma tubolare con ventagli ovali ritagliati da foglie e piegati per realizzare cellette di allevamento a mo' di ditale; la parete di foglie funziona sia come contenitore per il cibo sia come barriera all'umidità.





70.
The thin edge of the termites nest is oriented towards the noon sun, Litchfield National Park, Australia.

Il bordo sottile del nido di termiti è orientato verso il sole di mezzogiorno, Litchfield National Park, Australia.

71.
The compass termites (*Amitermes meridionalis*) orient their slab-like nests, which may be 3.5 metres high, 3.0 metres wide and 1.0 metre thick, exactly in north-south orientation in order to maximise morning and evening sun energy and minimise the excessive heat at noon. The flat shape is also assumed to aid air exchange; the shape increases the ratio of surface area to mass.

Le termiti della bussola (*Amitermes meridionalis*) orientano i loro nidi a forma di lastra, che possono arrivare a essere alti 3,5 metri, larghi 3 e spessi uno, esattamente secondo l'asse nord-sud, per massimizzare l'energia solare del mattino e della sera e per minimizzare il calore eccessivo di mezzogiorno. Si pensa anche che la forma piatta dipenda dal fatto che così viene favorito lo scambio d'aria; tale forma aumenta infatti il rapporto fra superficie e massa.



72-73.

The beaver controls the water level of the river with its dam constructions and creates conditions suitable for its life patterns.

Il castoro controlla il livello dell'acqua del fiume costruendo dighe in modo da realizzare le condizioni adatte ai propri stili di vita.



driven through its burrow by the beating of three muscular fans, while caddis-fly larvae drive water through their house with undulations of their abdomen. Nest-building fish such as the stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) increase water flow through the nest by beating their fins. The African species of lungfish (*Protopterus*) can survive almost total dehydration of its environment by burrowing into damp mud and enveloping itself in a mucus cocoon. This dries to form a protective case. Air from mud above the cocoon filters through a porous lid at the top of the mucus case.

The Malayan soldier crab (*Mictyris longicarpus*) lives on coastal sand flats between tides. As the tide rises the animal buries itself in the sand to protect itself from rough water and predators. It builds a dome of wet sand which contains a volume of air. The crab then digs deeper scraping sand from the floor and plastering it on to the ceiling. Thus, it transports the air deeper into the protective mass of sand.

The black-tailed prairie-dog (*Cynomys ludovicianus*) equips its underground burrow with two different exits: a dome mound with a rounded top, and a crater with a sharp rim rising twice as high as the dome mound. The difference in shape and height creates a higher wind velocity over the crater, and this causes a lower air pressure above the crater and a consequent air flow that pulls stale air out of the burrow. To make a human comparison, this is a system of natural air circulation frequently used in today's ecologically oriented architecture. The beaver has also devised a ventilation system: the branches in the upper part of the roof of the beaver's lodge are loosely packed to allow ventilation of the living quarters below.

The most astonishing ventilation systems, however, have been developed by various species of termites. The nest mound of *Macrotermes bellicosus*, which easily reaches the height of some four metres, contains more than two million termites. These live, work and breathe within the closed volume of the nest. Their consumption of oxygen is considerable, and without a proper system of air-conditioning the termites would suffocate quickly in their stone-hard skyscraper.

The nest proper of termites is roundish and has the royal chamber at its centre. The occupied part is supported by conical columns within the thickly ridged outer shell, which creates a large 'cellar' air space; the nest is attached by lateral struts to the outer mound. Another air space above the nest extends toward the centre of the nest like a chimney. Ridges or buttresses run on the outside from top to bottom. This complex construction creates a completely automated ventilation system that functions in the following manner: air in the chambers, where the fungus is cultivated, is heated by the fermentation processes, and heat is also produced by the breathing of the animals themselves. The hot air rises and is forced by the pressure of the continuous flow into the wide horizontal ridge ducts. The exterior and interior walls of the ridges are porous, and they enable gas exchange to take place; carbon dioxide seeps out and is replaced by oxygen, which

Certe specie di formiche proteggono dall'umidità i loro nidi impregnando le pareti delle celle con una secrezione ghiandolare o rivestendole con un materiale simile alla cera.

Un rivestimento ottenuto da una secrezione orale (un filamento simile a quello di un ragno) è essenziale nei bozzoli di molte falene che svernano nei climi freddi: impedisce l'intrusione dell'umidità e previene la formazione di cristalli di ghiaccio, che sarebbero letali per la pupa.

Molti animali hanno bisogno di mantenere un certo livello minimo di umidità per la loro sopravvivenza, a tal proposito abbiamo già detto dell'elevato livello di umidità richiesto dalle termiti.

1.4 Ventilazione e scambio di gas

Gli animali che vivono in spazi chiusi devono gestire lo scambio di gas. Ad esempio, per le uova della tartaruga marina depositate in una buca scavata nella sabbia lo scambio di gas attraverso la dispersione è cruciale, ma il rettile sa come riempirla all'uopo in modo da lasciare spazi d'aria nella sabbia intorno a esse. Altre specie hanno escogitato soluzioni più elaborate: nel verme *Chaetopterus* il flusso d'acqua è spinto attraverso la sua tana grazie al battito di tre ventagli muscolari, mentre le larve di tricottero convogliano l'acqua attraverso la tana facendo ondulare l'addome. I pesci che costruiscono i nidi, come lo spinarello comune (*Gasterosteus aculeatus*), aumentano il flusso d'acqua attraverso di essi battendo le pinne. La specie africana di pesce polmonato (*Protopterus*) può sopravvivere alla quasi totale disidratazione dell'ambiente nel quale vive scavando nel fango umido e avvolgendosi in un bozzolo di muco, che si asciuga per formare un carapace protettivo. Dal fango sopra il bozzolo l'aria filtra attraverso un coperchio poroso ubicato nella parte superiore dell'involucro di muco.

Il granchio soldato della Malesia (*Mictyris longicarpus*) vive nella fascia di sabbia costiera interessata dalle maree. Quando la marea sale, l'animale si seppellisce nella rena, per proteggersi dalle acque agitate e dai predatori, e costruisce una cupola di sabbia bagnata contenente un volume d'aria. Poi scava più in profondità raschiando la sabbia dal fondo per applicarla sul soffitto in modo da trasportare l'aria più in basso nella massa protettiva di rena.

Il cane della prateria dalla coda nera (*Cynomys ludovicianus*) predispone la sua tana sotterranea con due uscite diverse: un tumulo a cupola con una cima arrotondata e un cratere con un bordo appuntito due volte più alto del tumulo a cupola. La differenza di forma e di altezza fa aumentare la velocità del vento sul cratere, sopra il quale si forma così un'area di bassa pressione tale da provocare un conseguente flusso d'aria che estrae dalla tana quella viziata. Per fare un paragone con l'uomo, questo è un sistema di circolazione naturale dell'aria a cui si ricorre spesso nell'architettura ecologica contemporanea. Anche il castoro ha escogitato un dispositivo di

penetrates into the multitude of thin ducts from outside. The ridges function as artificial lungs for the colony. As the air is cooled during its flow through the ridges, the heavier regenerated air falls into the cellar through the bottom air space. This air returns to the nest from the bottom through the air space surrounding the nest, and replaces the rising warm air. How this system, which requires an extremely complex spatial construction and the control of a chemical process, has come about in the course of evolution, is hard to imagine. But it is also hard to conceive how information concerning this construction is passed down through genes and instinct.

This ventilation system is amazing enough, but other termite species have developed different systems. Moreover, the nests of *Macrotermes bellicosus* in Uganda have a different system from that of the same species living on the Ivory Coast. Whether a single species is capable of choosing between two alternative theories of physics, or the identical animals actually form two separate species, is unclear.

Wasps also show a remarkable flexibility in their building instinct and may choose to construct their nest in the ground, on a roof joist or elsewhere high up, and this choice, of course, provides different technical parameters for their respective construction; these wasps can choose from various architectural styles, as it were.

1.5 Waste management

Animals also take care of their wastes; ants build refuse depositories, marmots build special chambers for their faeces, and badgers defecate in latrine pits. Beavers, too, are very clean animals, and they dispose of all leftovers of their meals into water. Chimpanzees are so clean that they defecate and urinate over the edge of their nest even in the darkness of night. But some insect larvae, for instance those of *Hemerobiidae* (*Neuroptera*) make themselves inconspicuous by accumulating faeces over their back.

Whenever a small animal invades a beehive, it is killed by the bees, and its dead body is covered with a layer of resin. This shuts out air and mummifies the carcass, which would otherwise poison the nest. The primitive termites of the species *Kaloterme*s, which hollow out galleries in wood structures of buildings, build blind, widened chambers in which to deposit their faeces. Another termite species, *Cryptoterme*s, makes holes on the surface of the wood that it inhabits to throw out its excreta; the holes are otherwise closed by the flattened heads of the soldiers.

Another efficient method of waste management used by a number of animal species, such as termites, is to use their faeces to construct their houses. Faeces are also commonly used as a reinforcing substance mixed with other materials, such as mud. The combination of mud, animal dung and straw is also widely used by traditional human cultures.

ventilazione: i rami nella parte superiore della base della sua tana sono poco fitti per permettere l'aerazione degli ambienti sottostanti.

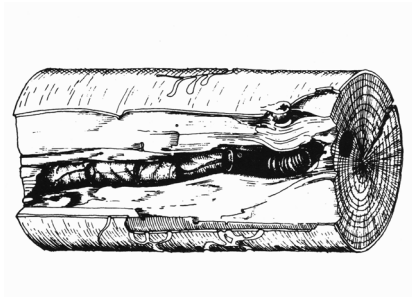
I sistemi di ventilazione più sorprendenti, tuttavia, sono stati sviluppati da varie specie di termiti. Il nido di *Macrotermes bellicosus*, che raggiunge facilmente l'altezza di quattro metri, contiene più di due milioni di termiti, che vivono, lavorano e respirano all'interno del volume chiuso del termitaio. Il loro consumo di ossigeno è considerevole, e senza un adeguato sistema di aria condizionata le termiti soffocherebbero rapidamente nel grattacielo di terra.

Il nido vero e proprio delle termiti è tondeggiante e ha la camera reale al suo centro. La parte occupata è sostenuta da colonne coniche all'interno dell'involucro esterno densamente rigato, il che crea un grande spazio "cantina" aerato; il nido è agganciato con dei puntoni laterali al tumulo esterno. Un altro spazio d'aria sopra il nido si estende come un camino verso il centro di esso. Le creste o i contrafforti corrono all'esterno dall'alto verso il basso. Questa complessa costruzione crea un sistema di ventilazione completamente automatizzato che funziona nel seguente modo: l'aria nelle camere dove si coltiva il fungo viene riscaldata dai processi di fermentazione a cui si aggiunge il calore prodotto dalla respirazione degli stessi animali. L'aria calda sale e viene forzata nei larghi condotti orizzontali del colmo dalla pressione esercitata dal flusso continuo. Le pareti esterne e interne delle creste sono porose e permettono lo scambio di gas; l'anidride carbonica quindi fuoriesce e viene sostituita dall'ossigeno, che penetra dall'esterno attraverso la moltitudine degli stretti condotti. Le creste funzionano per la colonia come polmoni artificiali. Poiché l'aria viene raffreddata durante il suo flusso attraverso le creste, l'aria più pesante rigenerata discende nella cantina attraverso l'intercapedine inferiore. Attraverso lo spazio aerato che circonda il nido, quest'aria ritorna al nido dal basso e sostituisce quella calda che sale.

È difficile immaginare come un sistema simile, che richiede una costruzione spaziale estremamente complessa insieme al controllo di un processo chimico, si sia sviluppato nel corso dell'evoluzione. Ma è anche arduo concepire come l'informazione relativa a una costruzione del genere sia stata trasmessa attraverso i geni e l'istinto.

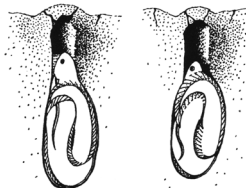
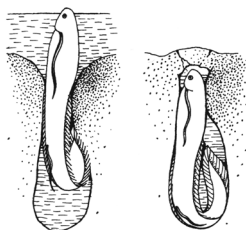
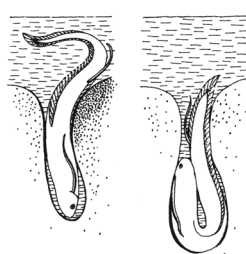
Un meccanismo di ventilazione simile è abbastanza sorprendente, tuttavia altre specie di termiti ne hanno sviluppati di diversi. Del resto, i termitai di *Macrotermes bellicosus* in Uganda utilizzano un dispositivo diverso da quello della stessa specie che vive in Costa d'Avorio. Se una singola specie sia capace di scegliere tra due leggi fisiche alternative, o se animali identici formino di fatto due specie distinte, non è chiaro.

Anche le vespe mostrano una notevole flessibilità nel loro istinto costruttivo e possono scegliere se realizzare il proprio nido nel terreno, su una trave del tetto, oppure altrove in una posizione

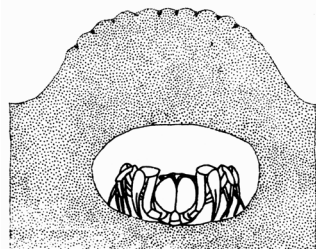
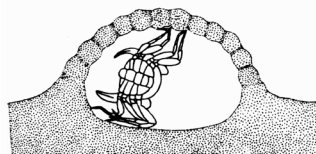
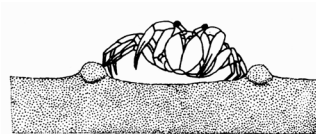


74.
Leaf-cutter bees (*Megachile willoughbiella*) protect their nest against moisture with leaves wrapped around the tube cavity like a hollow cigar. The opening is closed by disks of leaves cut to a circular shape. Le api tagliafoglie (*Megachile willoughbiella*) proteggono il proprio nido dall'umidità con delle foglie avvolte intorno a una cavità tubolare a mo' di sigaro vuoto. Il foro di ingresso è chiuso da dischi di foglie tagliate a forma circolare.

75.
The subterranean nest of the stone bumble bee (*Bombus lapidarius*) is protected against moisture by a wax cover. Il nido sotterraneo del bombo della pietra (*Bombus lapidarius*) è protetto contro l'umidità da un involucro di cera.



76.
The African lungfish (*Protopterus*) can live through dry seasons by sealing itself inside a mucus case in the mud and breathing air that filters through a porous lid. Il pesce polmonato africano (*Protopterus*) può vivere durante le stagioni secche sigillandosi all'interno di un astuccio di muco sepolto nel fango e respirando l'aria che filtra attraverso un tappo poroso.



77.
The Malayan soldier crab (*Mictyris longicarpus*) lives on tidal sands. As the tide rises, the crab buries itself in the sand and transports a quantity of air into its shelter that suffices through the high tide. Il granchio soldato della Malesia (*Mictyris longicarpus*) vive nella fascia di sabbia costiera interessata dalle maree. Quando la marea si alza, il granchio si seppellisce nella sabbia e fa confluire nel proprio rifugio una quantità di aria sufficiente per tutta la durata dell'alta marea.

sopraelevata, e tale scelta, naturalmente, determina diversi parametri tecnici per la loro rispettiva edificazione; queste vespe possono optare fra diversi stili architettonici, per così dire.

1.5 Gestione dei rifiuti

Gli animali si prendono pure cura dei propri rifiuti; le formiche costruiscono dei depositi per l'immondizia, le marmotte realizzano camere speciali per le loro deiezioni, e i tassi defecano in fosse utilizzate come latrine. Anche i castori sono animali molto puliti e smaltiscono tutti gli avanzi dei pasti nell'acqua. Gli scimpanzé tengono a tal punto alla pulizia che defecano e urinano dal bordo del loro nido perfino nel buio della notte. Ma alcune larve di insetti, per esempio quelle degli emerobidi (neurotteri) si rendono poco appariscenti accumulando i propri escrementi sulla schiena.

Ogni qual volta un piccolo animale invade un alveare, viene ucciso dalle api, e il suo cadavere viene ricoperto da uno strato di resina così da sigillarlo e mummificare la carcassa, la quale altrimenti inquinerebbe il nido.

Le termiti primitive del genere *Kalotermes*, che scavano gallerie nelle strutture di legno degli edifici, costruiscono camere cieche e spaziose in cui depositare gli escrementi. Un'altra specie di termiti, *Cryptotermes*, pratica dei fori sulla superficie del legno nel quale abita per gettare all'esterno gli escrementi; i fori sono altrimenti chiusi dalle teste appiattite dei soldati.

Un altro metodo efficiente di gestione dei rifiuti a cui ricorre un certo numero di specie animali, come le termiti, è quello di utilizzare le deiezioni per costruirsi la tana. Le feci sono anche comunemente adoperate come sostanza rinforzante mescolata con altri materiali, per esempio il fango. La combinazione di fango, sterco animale e paglia è pure ampiamente impiegata nelle culture costruttive tradizionali dell'uomo.

2. Protezione dai predatori

2.1 Occultamento

Gli animali ricorrono a due diversi principi di occultamento per evitare di essere scoperti dai predatori: il primo è di confondersi con lo sfondo (tale tipo di occultamento è chiamato criptismo), il secondo è di essere scambiati per un oggetto che non rappresenta del cibo per il predatore (mimetismo). Le tane delle larve di tricottero sono esempi di criptismo difensivo che rende le larve meno visibili ai predatori. Molte specie di uccelli, in particolare i passeriformi, nascondono accuratamente i loro nidi nella vegetazione. Le anatre e le oche coprono le uova ogni qual volta la femmina lascia il nido. Se devono allontanarsi dal nido improvvisamente, le anatre defecano sulle uova, rendendole poco allettanti ai possibili predatori. È evidente che i nidi chiusi rispetto a quelli aperti



78.
Termite mound, Australia.
Termitaio, Australia.



2. Protection from predators

2.1 Concealment

Two different principles of concealment are used by animals to avoid detection by predators: the first is to become like the background (this manner of concealment is called crypsis), and the second to be mistaken for an object that is not food for the predator (mimicry).

The houses of caddis-fly larvae are examples of defensive crypsis which makes the larvae less visible to predators. Many species of birds, particularly passerines, hide their nests carefully in vegetation. Ducks and geese cover their eggs whenever the female leaves the nest. Ducks defecate on their eggs if they suddenly have to leave the nest, making the eggs unattractive to possible predators. It is evident that enclosed nests provide better protection and success for the eggs and the nestlings than open nests; closed nests represent a higher evolutionary development than open nests.

A common feature of camouflage of the nest is to make it resemble its immediate surroundings. A number of birds cover their nests with lichen, while others disguise the surface of the nest with bark. The nest of some species resembles bits of vegetative materials or rubble that surround the nest in their normal habitat.

Most *Polybia* wasps suspend their nests from branches, and cover the outer surface with lichens and moss, woven into the nest structure so skillfully that they continue to grow to provide perfect camouflage. Some species of ants (*Polyrhachis* and *Camponotus*) cover their nests high up in trees with small particles of lichen, bark and other materials woven into a silk mat rendering the nest practically invisible. The trap-door spider (*Nemesia cementaria*) camouflages her hinged door with grains of sand woven into a silk net to make the entrance to her underground tube disappear into its sandy surroundings.

There are also numerous examples of animal constructions that are not concealed but are simply made to appear unlike food. Many wasp species that live in small colonies compromise the economy of compact cell formation and build elongated nests that mimic dry twigs. Highly social wasps do not need to camouflage their nests since the large and aggressive colony can defend itself against most predators.

Some spider species construct mock spiders from a bundle of silk and insect fragments in their nests to direct the attacks of predators to false targets. Certain burrowing wasps dig false entry holes in the soil near their burrow entrance apparently to divert the attention of parasites. False entrances have already been mentioned in the section on animal inventions. The social weaver (*Pseudonigrita amaudi*) builds nests with two entrances as alternative emergency exits.

offrono una migliore protezione e una maggiore possibilità di sopravvivenza alle uova e ai pulcini; i nidi chiusi rappresentano uno sviluppo evolutivo superiore rispetto a quelli aperti.

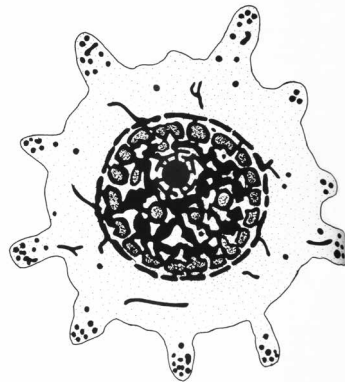
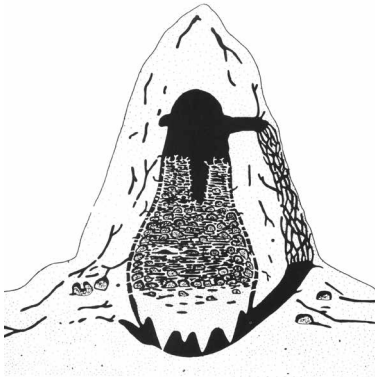
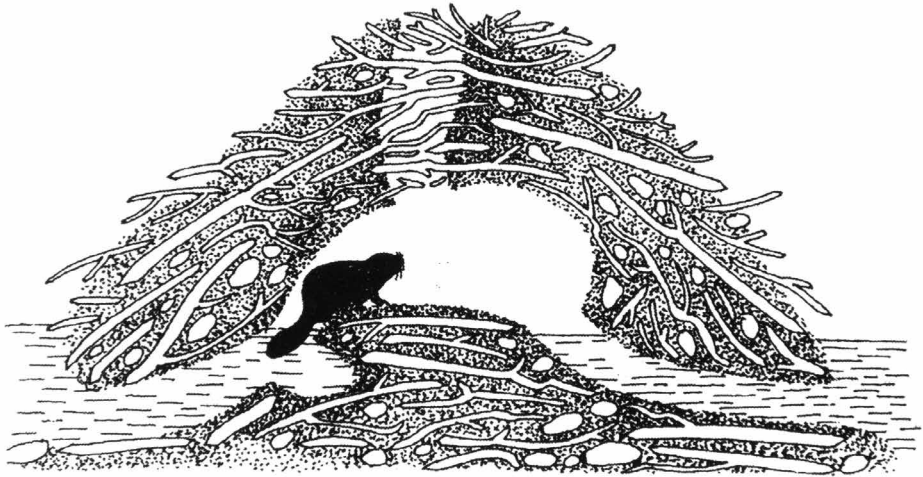
Una caratteristica comune della mimetizzazione del nido è quella di farlo assomigliare all'ambiente circostante. Un certo numero di uccelli ricopre i nidi di licheni, mentre altri mascherano la superficie della tana con un po' di cortecce. Il nido di alcune specie di animali assomiglia ai frammenti di materiali vegetali o di detriti che lo circondano nel loro habitat naturale.

Molte vespe del genere *Polybia* sospendono i nidi dai rami e rivestono la superficie esterna con licheni e muschio, i quali vengono intessuti nella struttura del nido così abilmente che possono continuare a crescere in modo da garantire un perfetto mimetismo. Alcune specie di formiche (*Polyrhachis* e *Camponotus*) ricoprono i nidi, collocati in alto negli alberi, con piccole particelle di licheni, corteccia e altri materiali intessuti in un tappeto di seta in modo tale da renderli praticamente invisibili. Il ragno botola (*Nemesia cementaria*) camuffa la porta a battente della tana con dei granelli di sabbia intrecciati in una rete di seta così da far scomparire l'entrata del cunicolo sotterraneo nell'habitat sabbioso circostante.

Esistono anche numerosi esempi di costruzioni animali che non vengono occultate, ma che sono semplicemente fatte in modo da non sembrare cibo. Molte specie di vespe che vivono in piccole colonie rinunciano al vantaggio della formazione di celle compatte e costruiscono nidi allungati somiglianti a ramoscelli secchi. Le vespe altamente sociali non hanno bisogno di camuffare i propri nidi perché la colonia grande e aggressiva può difendersi dalla maggior parte dei predatori. Alcune specie di ragni intessono finti ragni con un fascio di seta e con resti di insetti posizionandoli nei nidi in modo da dirigere gli attacchi dei predatori verso obiettivi fittizi. Delle vespe scavatrici realizzano falsi fori di ingresso nel terreno vicino all'entrata dei nidi a quanto pare per distogliere l'attenzione dei parassiti. Gli accessi finti sono già stati menzionati nel paragrafo dedicato alle invenzioni degli animali. Il tessitore testa grigia (*Pseudonigrita amaudi*) costruisce nidi con due entrate da utilizzare come uscite di emergenza alternative.

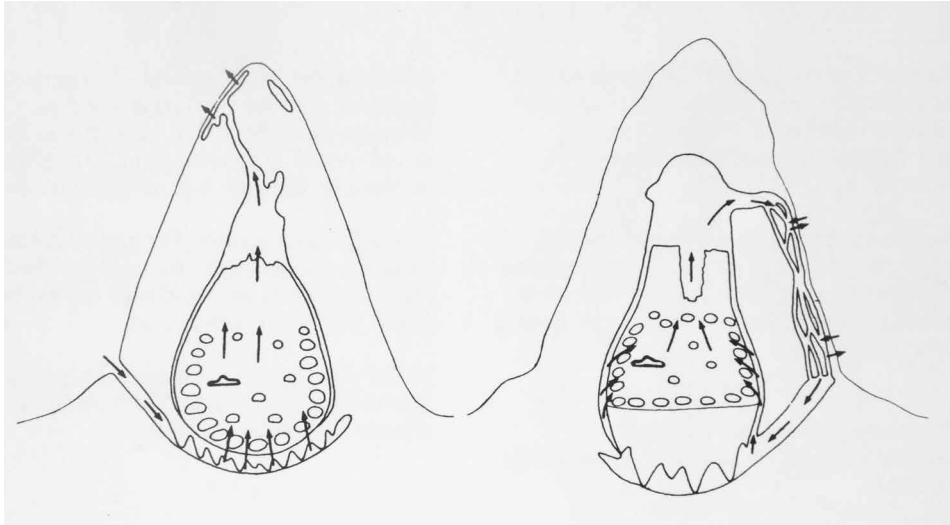
2.2 Protezione meccanica

Molti animali cercano di rendere le loro strutture abbastanza solide da resistere agli attacchi dei nemici, oppure di dotarle di elementi o dispositivi adatti a garantire protezione. I nidi dei pendolini (*Remizidae*) sono così robusti e fittamente intrecciati che nemmeno le scimmie sono in grado di strapparli; i Masai in Kenya e i bambini dell'Europa Orientale li utilizzano come borse. Anche il nido di cartone del *Parachartegus apicalis*, una vespa polibina dell'America Centrale, è quasi impenetrabile. Il nido di termiti è duro come il cemento e garantisce un rifugio relativamente sicuro contro la maggior parte dei nemici, eccezion fatta per i potenti artigli



79.
The beaver constructs a ventilation shaft at the top of its lodge.
 Il castoro costruisce un pozzo di ventilazione in cima alla sua tana.

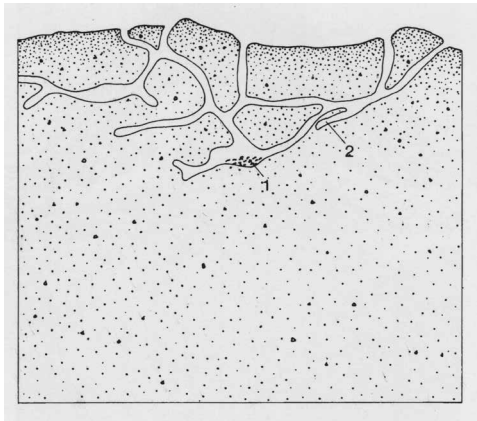
80-81.
Vertical and horizontal sections through the nest of *Macrotermes bellicosus* termite. Heated air rises into the air space above the nest and from there to the horizontal ducts. Air pressure drives the air through the narrow tubes inside the external ridges, and carbon dioxide is replaced by oxygen. The air cools as it falls into the air space below the nest and rises to the nest chambers to continue its automated circulation.
 Sezione e pianta del nido della termite *Macrotermes bellicosus*. L'aria riscaldata sale nell'intercapedine sopra il nido e da lì passa nei condotti orizzontali. La pressione della corrente spinge l'aria attraverso gli stretti tubi all'interno delle creste esterne, mentre l'anidride carbonica viene sostituita dall'ossigeno. L'aria si raffredda mentre precipita nello spazio d'aria sotto il nido e sale verso le camere del nido per continuare la sua circolazione automatica.



82.

Macrotermes bellicosus nest from the Ivory Coast (left) and from Uganda (right). The arrows indicate the direction of air movement. Termites of the same species living in coastal and inland areas seem to be capable of utilising two different theories of physics!

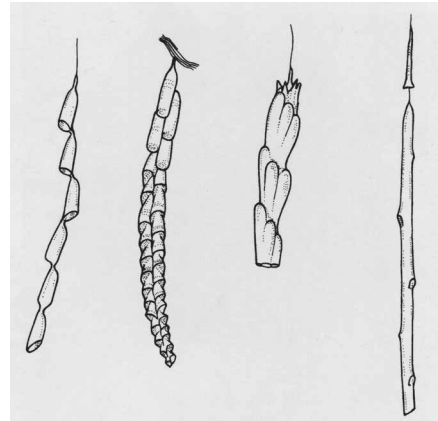
Nido di *Macrotermes bellicosus* della Costa d'Avorio (sinistra) e dell'Uganda (destra). Le frecce indicano la direzione del movimento dell'aria. Le termiti della stessa specie che vivono nella costa e nell'interno sembrano essere capaci di utilizzare due diverse leggi della fisica!



83.

The subterranean burrow of marmots (*Marmota marmota*): 1. Main chamber; 2. Short passage for faeces.

La tana sotterranea delle marmotte (*Marmota marmota*): 1. deposito; 2. latrina.



84.

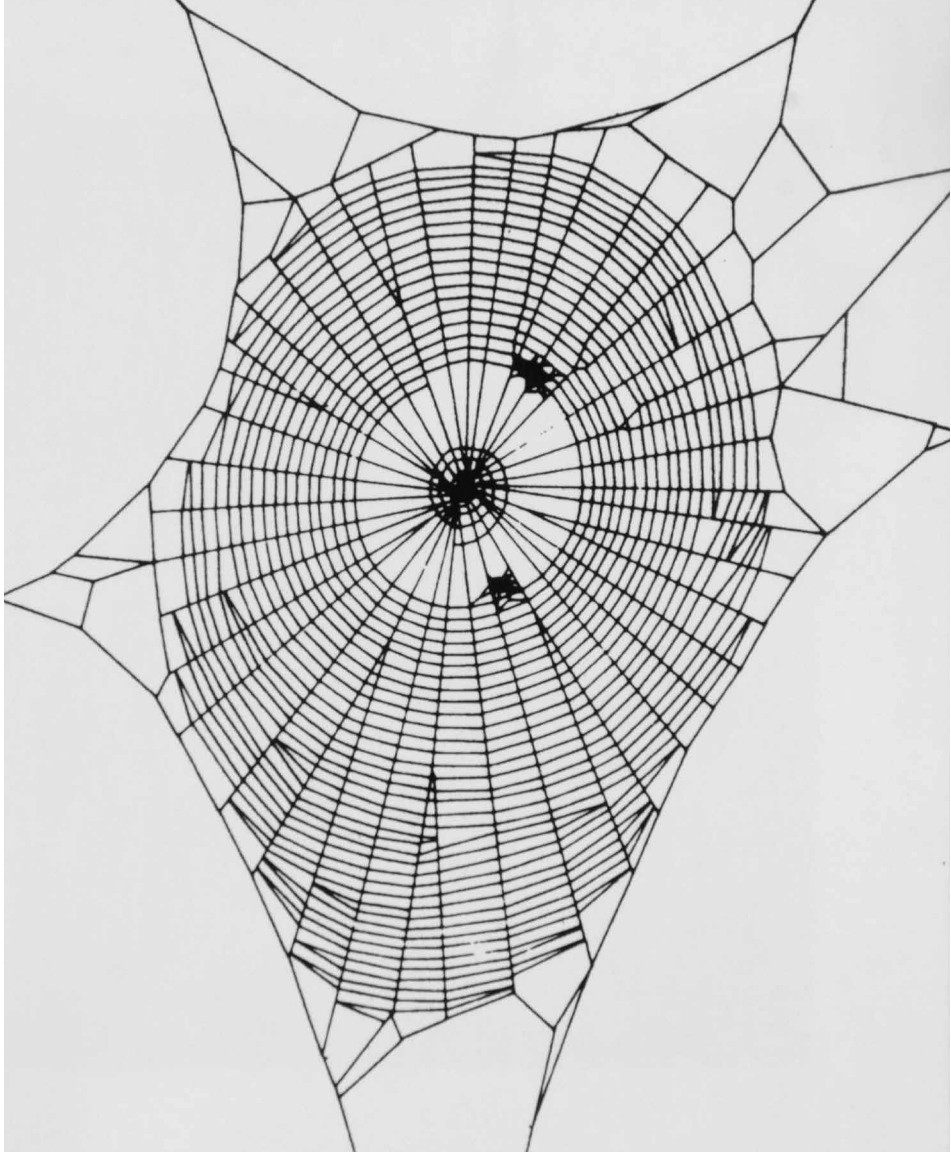
The elongate nests of four wasp species camouflaged as dry twigs.

I nidi allungati di quattro specie di vespe si mimetizzano a mo' di ramoscelli secchi.



85. The spherical nest of the wren (*Troglodytes troglodytes*) is well concealed close to the ground in dense undergrowth.

Il nido sferico dello scricciolo (*Troglodytes troglodytes*) è ben nascosto vicino al suolo nel fitto sottobosco.



86.

The web of *Cyclosa spider*: the spider is at the hub but the two false spiders distract potential attackers.

La ragnatela del ragno *Cyclosa*: il ragno è al centro, mentre i due ragni finti sviano i potenziali aggressori.

2.2 Mechanical protection

Many animals attempt either to make their structures strong enough to withstand the attacks of their enemies, or to equip them with elements or devices to provide protection. The woven nests of the penduline titmouse (*Remizidae*) are so strong and densely woven that even apes cannot tear them apart; they are used as purses by the Masai in Kenya and as children's slippers in Eastern Europe. The carton nest of *Parachartegus apicalis*, a polybine wasp living in Central America, is also almost impenetrable. The termite nest is hard as concrete and provides a relatively safe shelter against most enemies except the powerful claws of the aardvark. The termite queen and king are protected inside a heart-like solid block in the center of the mound, with only tiny holes to allow workers to tend the royal couple and transmit essential information about the conditions outside the royal castle.

The eumenid wasp (*Oplomerus*) builds a burrow in a sand bank. During the provisioning of insect larvae and egg-laying, the wasp constructs a curious auxiliary mud tunnel. The inside of the tunnel is made very smooth, and the construction appears to be a protection against parasitic hymenoptera; after the burrow has been closed, the tunnel is completely removed by the wasp.

The retort-shaped vertical entrance tube of the weaverbird's nest suspended from a slender branch makes it difficult for arboreal snakes to enter. The spiralling perpendicular structure provides additional mechanical protection; the fibre tube expands under the pressure of the snake and increases the possibility of its slipping and falling off the nest.

The hornbills (*Bucerotidae*) are hole-breeders which have developed a unique protection for the hatching female and the nestlings. The female encloses herself inside the nest carved in a tree with mud brought and wetted with saliva by the male, with which she mixes excreta and food residues. Only a narrow slit wide enough for the male to pass food to the female is left open. After the eggs have hatched the mother bird opens the wall and comes out, but the young birds re-close the wall.

Mechanical protection may also be built in the form of a barrier. The clay crater of the Brazilian tree frog (*Hyla faber*) suffices to protect the offspring from predatory fishes. The nest of the polistine wasp (*Nectarinella championi*) is surrounded by sticky hairs as protection against ants.

A common means of protecting the nest in wasps is to suspend it from a thin pedicel. Some species (*Parischnogaster jacobsoni*) improve this protection by placing a sticky drop or spiral to prevent ants from approaching the nest. The female of the polistine wasp (*Mischocyttarus drewseni*) coats the petiole with her abdominal secretion to deter ants.

dell'oritteropo. La regina e il re delle termiti sono protetti all'interno di un blocco solido, simile a un cuore, al centro del tumulo, esso presenta solo dei forellini per permettere alle operaie di occuparsi della coppia reale e per trasmettere le informazioni essenziali sulla situazione fuori dal castello reale.

La vespa eumenide (*Oplomerus*) costruisce un nido in un banco di sabbia. Durante l'approvvigionamento delle larve di insetti e la deposizione delle uova, la vespa edifica un curioso tunnel di fango ausiliario. L'interno del tunnel è particolarmente liscio, e la costruzione sembra essere una protezione contro gli imenotteri parassiti. Dopo che il nido è stato chiuso, il tunnel viene completamente demolito dalla vespa.

Il tubo d'ingresso verticale a forma ritorta del nido dell'uccello tessitore (*Ploceidae*), sospeso a un ramo sottile, rende arduo l'ingresso ai serpenti arboricoli. La struttura perpendicolare spiraliforme fornisce un'ulteriore difesa meccanica: il tubo di fibra si espande sotto la pressione del serpente e aumenta la possibilità che questi scivoli e precipiti dal nido.

I buceri (*Bucerotidae*) hanno sviluppato una protezione unica per la femmina intenta alla cova e per i pulcini. La femmina si rinchiude nel nido scavato in un albero col fango trasportato e bagnato di saliva dal maschio, il fango viene mescolato dalla femmina insieme con escrementi e residui di cibo.

Resta aperta solo una stretta fessura abbastanza larga da permettere al maschio di passare il cibo alla compagna. Dopo che le uova si sono schiuse, la madre abbatte la parete ed esce, mentre la giovane prole richiude il muro.

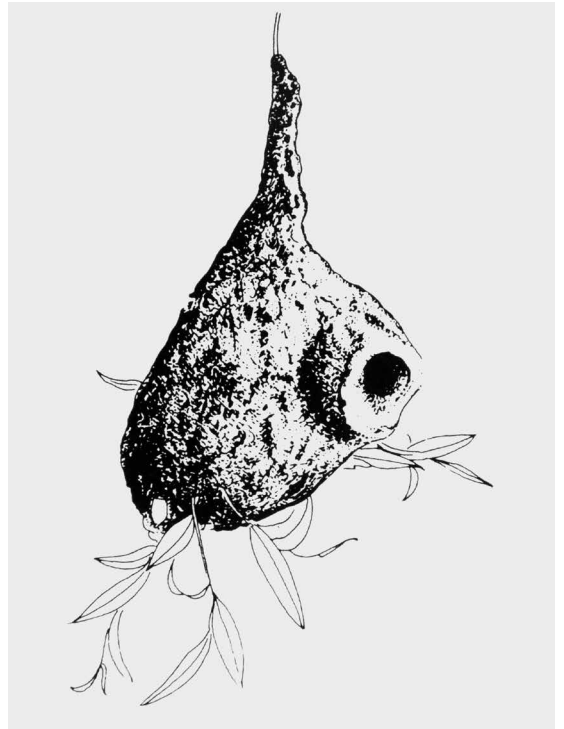
La protezione meccanica può anche essere realizzata a mo' di barriera. Il cratere di argilla della raganella fabbro del Brasile (*Hyla faber*) è sufficiente per difendere la prole dai pesci predatori. Il nido della vespa polistina (*Nectarinella championi*) è rivestito da peli appiccicosi per proteggerli dalle formiche.

Nelle vespe un modo comune per salvaguardare il nido è quello di sospenderlo da un sottile pedicello. Alcune specie (*Parischnogaster jacobsoni*) migliorano questa protezione mettendo una goccia o una spirale appiccicosa per impedire alle formiche di avvicinarsi al nido. La femmina della vespa polistina (*Mischocyttarus drewseni*) ricopre il picciolo con la sua secrezione addominale per scoraggiare le formiche.

3. Raccolta del cibo

3.1 Coltivare

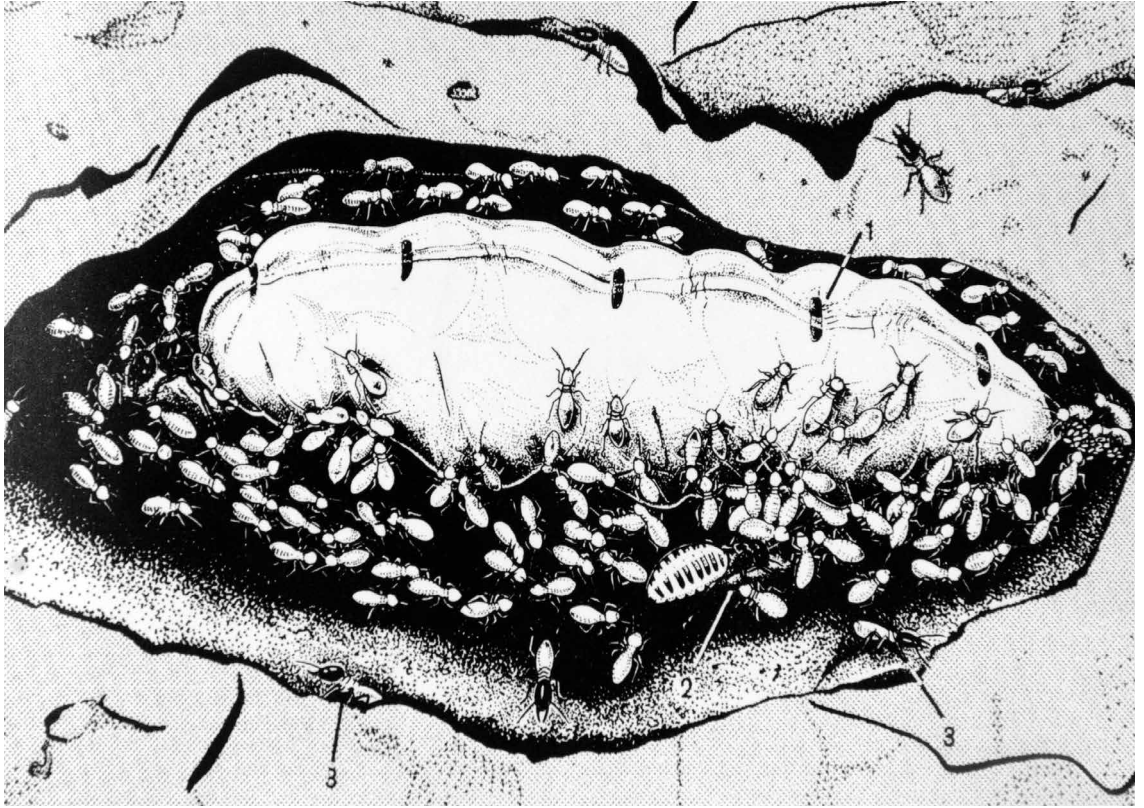
Le formiche tagliafoglie sudamericane del genere *Atta* coltivano il proprio cibo, un fungo basidiomicete, in speciali camere sotterranee, che possono arrivare a essere lunghe fino a un metro



87-88.
The strong nest of the penduline titmouse (*Remiz pendulinus*).
Il nido robusto del pendolino (*Remiz pendulinus*).



89.
The cardboard nest of a wasp.
Il nido di cartone di una vespa.



90.
The royal cell of the termite nest is well protected in the middle of the hard nest structure. Only tiny holes that enable workers to pass through connect the cell with the outside.
 La camera reale del termitaio è ben protetta al centro della solida struttura del nido. Solo minuscoli fori, che permettono il passaggio delle operaie, collegano la cella con l'esterno.

91.
Nests of weaverbirds are protected at the tips of slender branches.
 I nidi degli uccelli tessitori sono protetti dalle punte di rami sottili.

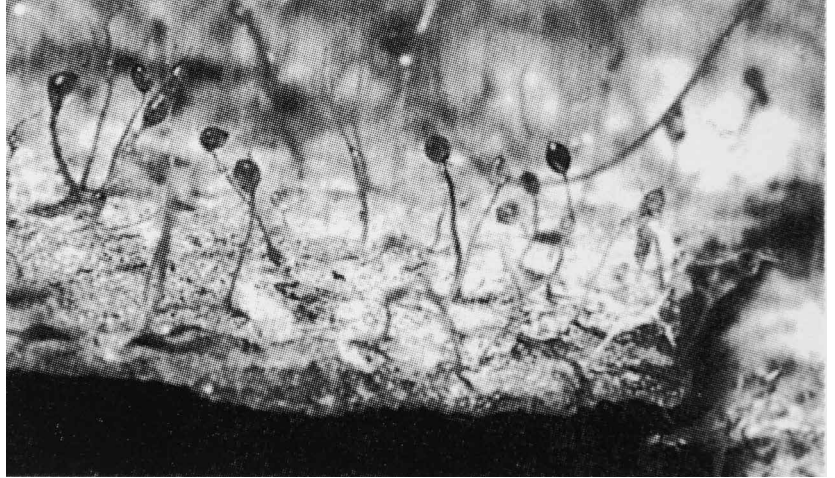
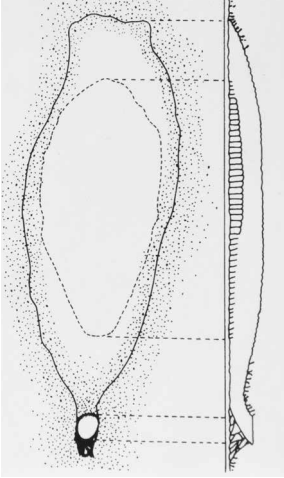




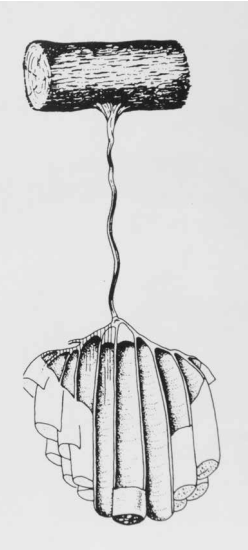
92.
The nest tower of termites is strong enough against the attacks of most enemies.
La torre del nido delle termiti è abbastanza robusta da resistere agli attacchi della maggior parte degli aggressori.



93.
The long flight tube of the Baya weaver (*Ploceus philippinus*) has a flexible weave that makes snakes fall off the nest.
Il lungo tubo di volo del tessitore di Baya (*Ploceus philippinus*) ha una trama flessibile che fa precipitare i serpenti dal nido.



94-95.
***Nectarinella championi* wasps protect their carton nest by means of numerous protective hairs tipped with sticky fluid.**
 Le vespe *Nectarinella championi* proteggono il nido di cartone con una miriade peli protettivi ricoperti di liquido appiccicoso.



96-97.
The nest of the polistine wasp *Mischocyttarus drewseni* is suspended by a thin petiole. The petiole is coated by the female with her abdominal secretion to deter ants.
 Il nido della vespa polistina *Mischocyttarus drewseni* è sospeso per mezzo di un sottile peduncolo, il quale viene rivestito dalla femmina con la sua secrezione addominale come deterrente contro le formiche.

3. Food gathering

3.1 Cultivation

The South American leaf-cutter ants of genus *Atta* cultivate their food, a basidiomycete fungus, in their special subterranean chambers, which may be up to 1 metre long and 30 centimetres high and wide. They cut pieces of leaves from trees to prepare a compost bed for the cultivation of fungus. The leaf pieces are chewed into small pieces, mixed with saliva and fertilised with liquid secretions. They tend their gardens well, treating their cultivations with a glandular secretion that suppresses the growth of bacteria and undesired fungi. The ants cut away the ends of growing hyphae, which develop club-shaped heads in consequence. The ants and fungi live in symbiosis, and this particular species of fungus does not exist outside the ant chambers at all. Amazingly enough, the queen takes a small piece of fungus from her mother nest before she takes off for her nuptial flight. Consequently, the ant fungus strain is passed on from one generation to the next. Many higher African and Asian termites (*Macrotermitinae*) also cultivate and tend fungi in special chambers. Wood-eating termites live in symbiosis with certain unicellular protozoan organisms, the enzymes of which are capable of breaking down cellulose in the stomachs of termites. *Lasius fuliginosus* ants impregnate particles of wood fibres with a highly concentrated sugar solution which makes the fibres stick together and form paper. At the same time this sugar serves as a nutrient substrate for a fungus that is always found in the nests. The strands of the fungus hyphae reinforce the structure in the same way that steel bars reinforce concrete.

3.2 Feeding

The fungus-growing leaf-cutters are the only vegetarian ants. Other ant species hunt insects or collect plant juices from coccids and aphids; coccids (scale insects) and aphids (plant lice) suck plant juice rich in carbohydrates and they exude the unused surplus in the form of sugar solution. The ants take advantage of this and tend these insects like cattle. Some ant species build cattle sheds by surrounding their aphid cattle around a plant shoot. *Crematogaster pilosa* builds a carton tent, whereas garden ants (*Lasius niger*) build little pavilions over the colonies of plant lice or scale insects. Weaver ants also build separate small nests for the production of liquid sugar. Members of *Acropyga maribensis*, which is a common ant species in the coffee plantations of Surinam, build their nests in the roots of coffee plants. They tend a scale insect which sucks the roots of the coffee tree to produce sugar for the ants, and these coccids are never found outside of ant nests. At swarming time the winged female picks up a young but already mated scale insect before she flies off. The queen carries the small insect in her jaws through the nuptial flight and after mating sets her sugar producer on a coffee root, thus establishing a new colony.

e ad avere un'altezza e una larghezza di trenta centimetri. Le formiche ritagliano pezzi di foglie dagli alberi per preparare un letto di compost per la coltivazione del fungo. I pezzi di foglie vengono masticati fino a essere ridotti in frammenti, mescolati con saliva e fertilizzati con una secrezione liquida. Curano bene i loro giardini, trattando le proprie coltivazioni con una secrezione ghiandolare capace di impedire la crescita di batteri e funghi indesiderati. Le formiche tagliano le estremità delle ife in crescita, che di conseguenza sviluppano teste a forma di clava. Le formiche e i funghi vivono in simbiosi, e questa particolare specie di fungo non esiste al di fuori delle camere delle formiche. Sorprendentemente, la regina raccoglie un pezzettino di fungo dal proprio nido madre prima di iniziare il volo nuziale. Di conseguenza, il ceppo del fungo della formica viene trasmesso da una generazione all'altra.

Anche molte termiti superiori africane e asiatiche (*Macrotermitinae*) coltivano e curano i funghi in camere speciali. Le termiti mangia-legno vivono in simbiosi con alcuni organismi protozoi unicellulari i cui enzimi sono in grado di scomporre la cellulosa nello stomaco delle termiti. Le formiche *Lasius fuliginosus* impregnano le particelle di fibre di legno con una soluzione di zucchero altamente concentrata che fa aderire le fibre e forma la carta. Allo stesso tempo lo zucchero serve come substrato nutritivo per un fungo che si trova sempre nei nidi. I fili delle ife del fungo consolidano la struttura nello stesso modo in cui le barre d'acciaio rinforzano il cemento.

3.2 Alimentarsi

Le tagliatrici di foglie che coltivano funghi sono le uniche formiche vegetariane. Altre specie di formiche cacciano insetti o raccolgono succhi vegetali da coccidi e afidi; i coccidi (cocciniglie) e gli afidi (pidocchi delle piante) succhiano il succo delle piante ricco di carboidrati e trasudano il surplus inutilizzato sotto forma di soluzione zuccherina. Le formiche ne approfittano e si occupano di questi insetti come se fossero bestiame. Alcune specie di formiche costruiscono delle stalle circondando il loro bestiame di afidi intorno a un germoglio di pianta. La *Crematogaster pilosa* allestisce una tenda di cartone, mentre le formiche comuni dei prati (*Lasius niger*) realizzano piccoli padiglioni sopra le colonie di pidocchi delle piante o di cocciniglie. Le formiche tessitrici costruiscono anche piccoli nidi separati per la produzione di zucchero liquido.

I membri della *Acropyga maribensis*, che è una specie di formica comune nelle piantagioni di caffè del Suriname, edificano i nidi in prossimità delle radici delle piante di caffè. Si prendono cura di una cocciniglia che succhia la linfa delle radici dell'albero del caffè per produrre zucchero per le formiche, e questi coccidi non si trovano mai al fuori dei nidi delle formiche. Al momento della sciamatura, la femmina alata raccoglie una cocciniglia giovane, ma già accoppiata, prima di volare via. La regina porta il piccolo insetto tra le fauci durante il volo nuziale e

3.3 Leaf-rolling

Some beetles and butterflies use the technique of leaf rolling to provide protection and food for their offspring.

The female of the weevil *Byctiscus populi* rolls a poplar leaf and inserts a few eggs inside the roll. After brooding, the young grow by feeding upon the roll. In the beetle *Deporaus betulae*, the female crawls inside the roll and lays half a dozen eggs in small pockets in the leaf tissue.

In the Lepidoptera species *Strigilina scitoria* the rolling is done by the larva instead of the parent insect.

3.4 Prey capture

Structures built for the capture of prey are fairly common from the nets of caddis-fly larvae and spiders to the sand pits of antlion larvae. The funnel-shaped fishing net spun from silk threads by the larva of caddis-fly *Neureclipsis bimaculata* can compete with any human fishing device. The net is fixed to water plants with its mouth open against the water current, and the larva waits for its prey in the narrow end of the tunnel of its 6-8 centimetre fishing device.

Hydropsyche caddis-flies build a flat capture net suspended between existing stones or attached to the end of a masonry tube constructed by the larva itself attaching small stones together with zig-zag silk strands.

A most impressive combined dwelling and prey capture construction is built by *Macronema transversum*. The outer structure, made of a mosaic of fine sand grains, has two funnels, one against the current for entering water and another to the opposite direction for water that has passed through the house. The animal itself waits for its prey in a side chamber next to a vertically placed silk net. The net is a miracle of precision: in the lattice of threads the thicker threads are spaced 25-30 micrometres apart while the thinner lines are spaced 3 micrometres apart; consequently, the net contains some 206,000 meshes.

But the finest masterpiece of spinning is the 6-centimetre silk bag of *Dolophilodes distinctus* caddis-fly larva, which has 100 million meshes or more, formed by thicker threads placed 6 micrometres apart and smaller ones at intervals of 0.5 micrometres.

Spider threads and nets are another marvel of animal architecture. Different species of spiders have developed different strategies of prey capture and geometries for their nets; there are about 35,000 species of spider and all of them have silk-producing spinnerets, three pairs in all species except the most primitive. The ogre-faced spider (*Deinopis longipes*) weaves an elastic net of hackled thread between its front legs. The spider waits for its prey, and as soon as an insect flies

dopo l'accoppiamento sistema il suo produttore di zucchero su una radice di caffè, fondando così una nuova colonia.

3.3 Arrotolare le foglie

Alcuni coleotteri e farfalle impiegano la tecnica dell'arrotolamento delle foglie per dare protezione e cibo alla prole.

La femmina di un coleottero, il sigaraio del pioppo (*Byctiscus populi*), rolla una foglia di pioppo e inserisce alcune uova al suo interno. Dopo la cova, i piccoli crescono nutrendosi del rotolo. Nel coleottero *Deporaus betulae*, la femmina striscia all'interno del rotolo e depone una mezza dozzina di uova in piccole tasche ricavate nel tessuto della foglia.

Nella specie di lepidottero *Striglina scitoria* l'arrotolamento è compiuto dalla larva invece che dall'insetto genitore.

3.4 Catturare prede

Le strutture costruite per catturare le prede sono abbastanza comuni, dalle reti delle larve di tricottero e dei ragni alle fosse di sabbia delle larve di formicaleone. La rete da pesca a forma di imbuto intessuta con fili di seta dalla larva di tricottero *Neureclipsis bimaculata* può competere con qualsiasi dispositivo di pesca realizzato dall'uomo. La rete è fissata alle piante acquatiche e l'imboccatura è rivolta controcorrente: la larva attende la preda nell'estremità stretta del tunnel del suo dispositivo di pesca la cui dimensione è di sei/otto centimetri.

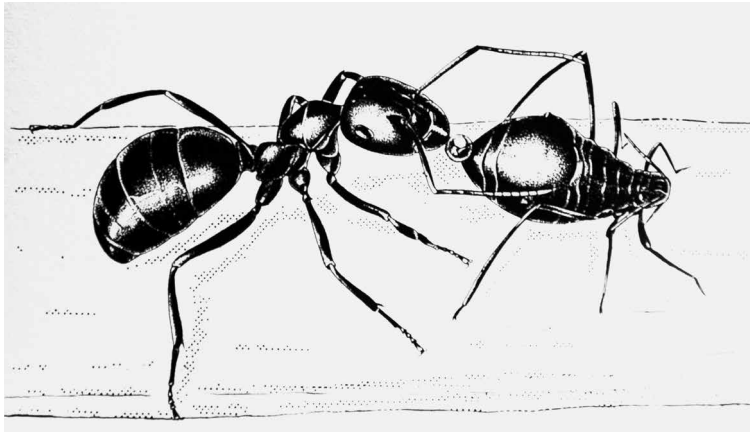
I tricotteri *Hydropsyche* costruiscono una rete di cattura piana sospesa tra le pietre esistenti o attaccata all'estremità di un tubo in muratura realizzato dalla larva stessa legando insieme delle piccole pietre con dei fili di seta intessuti a zig-zag.

La più impressionante costruzione, che è una combinazione di abitazione e trappola cattura prede, viene edificata dal tricottero *Macronema transversum*. La struttura esterna, composta da un mosaico di granelli di sabbia fine, ha due imbuti, uno controcorrente per l'acqua in entrata e l'altro in direzione opposta per l'acqua in uscita. L'animale stesso attende la preda in una camera laterale accanto a una rete di seta disposta verticalmente. La rete è un miracolo di precisione: nel reticolo di fili quelli più grossi sono distanziati di venticinque/trenta micrometri, mentre quelli più sottili di tre; di conseguenza, la rete contiene circa duecentoseimila maglie.

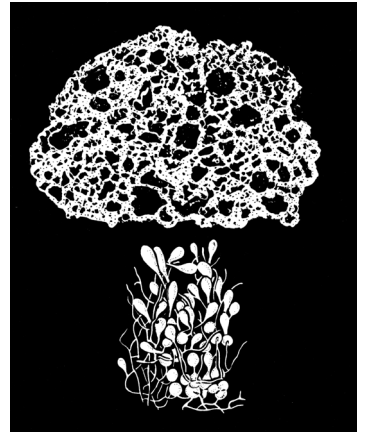
Ma il più bel capolavoro di filatura è il sacco di seta di sei centimetri della larva di tricottero *Dolophilodes distinctus*, che conta cento o più milioni di maglie ed è formato dai fili più spessi disposti a sei micrometri l'uno dall'altro e da quelli più sottili posizionati a intervalli di mezzo micrometro.



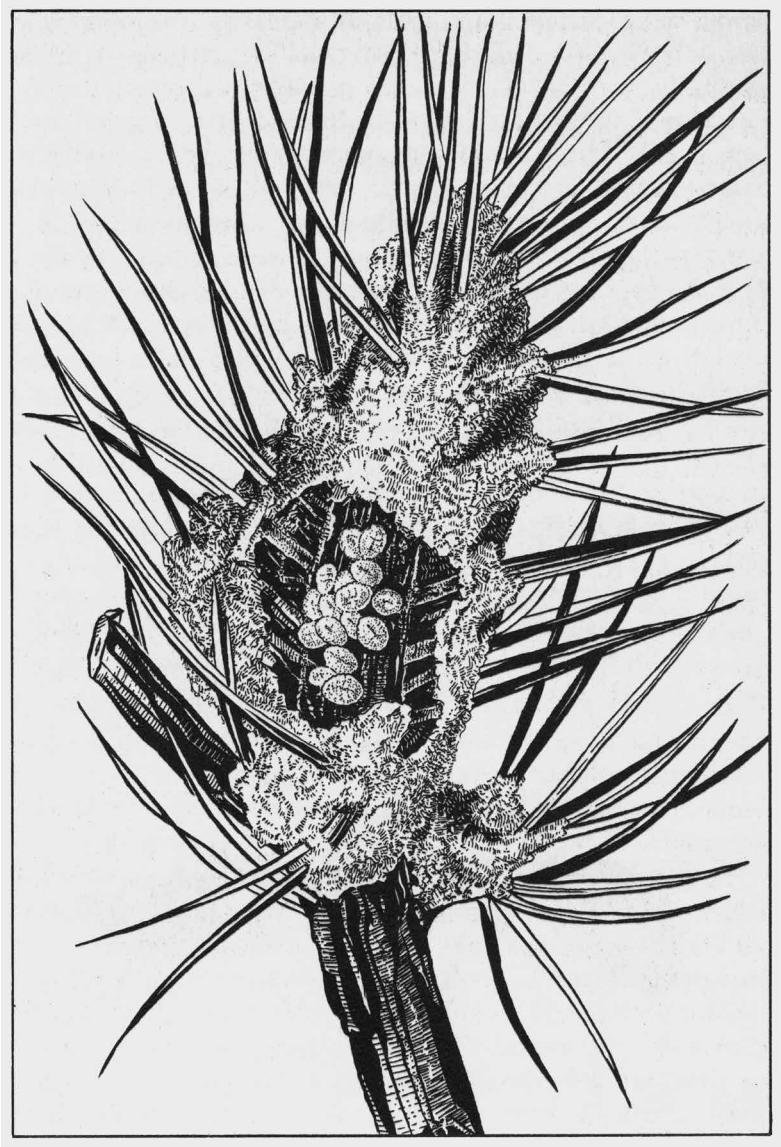
98. Leaf-cutter ants of the genus *Atta* carrying pieces of leaves to their fungus compost.
Formiche tagliafoglie del genere *Atta* mentre portano pezzi di foglie al loro compost di funghi.



99. An ant strokes an aphid, stimulating it to exude honeydew. Ants have learned to carry their aphids to plant leaves that will produce fine honeydew. They also defend their cattle against predators.
Una formica solletica un afide, stimolandolo a trasudare melata. Le formiche hanno imparato a portare i loro afidi sulle foglie delle piante che produrranno una pregiata melata. Inoltre difendono il loro bestiame dai predatori.



100. The upper image shows a piece of fungus mass from a leaf-cutter ant nest. The lower enlargement shows the swellings at the mutilated ends of the hyphae, which are the sole food of the entire colony.
L'immagine in alto mostra una coltura di funghi nel formicaio di formiche tagliafoglie. L'ingrandimento in basso illustra i rigonfiamenti alle estremità mutilate delle ife, che sono la sola fonte di cibo dell'intera colonia.



101.

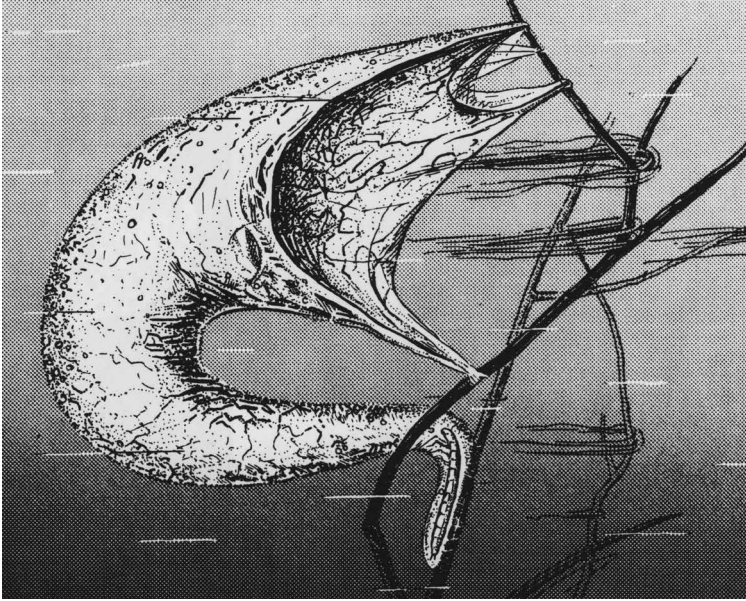
A cattleshed of the *Crematogaster pilosa* ant; the ant constructs a tentlike carton shelter to protect its colony of coccids.

Una stalla della formica della specie *Crematogaster pilosa*; la formica realizza un ricovero di cartone simile a una tenda per proteggere la sua colonia di cocciniglie.



102.
Leaf-cutter ant (*Atta*).
Formica tagliafoglie del genere *Atta*.



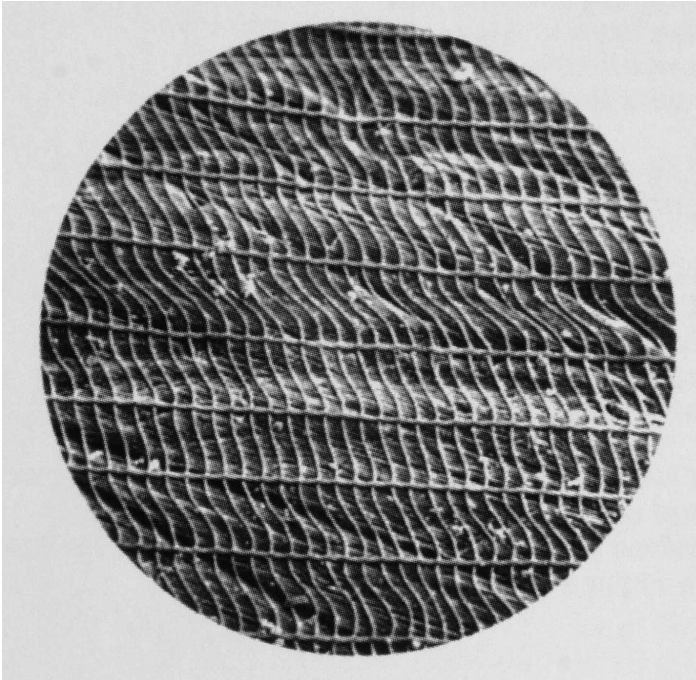
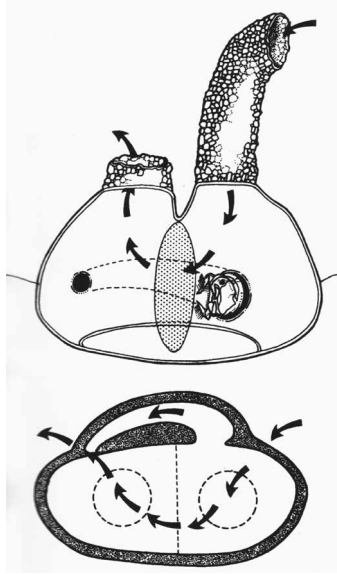
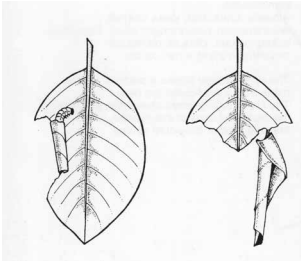
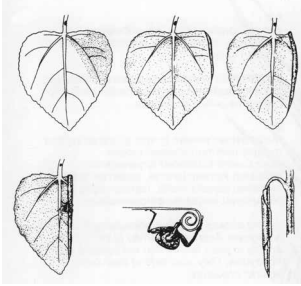


103.
The capture net spun of silk threads by the *Neureclipsis bimaculata* caddis larva. The larva itself is at the tip of the tunnel.

La rete di cattura viene realizzata con un intreccio di fili di seta dalla larva di tricottero *Neureclipsis bimaculata*. La larva stessa è nella punta del tunnel.



104.
Capture net of the *Hydropsyche* caddis larva.
Rete di cattura della larva di tricottero *Hydropsyche*.



105.

The female *Byctiscus populi* beetle first bores a hole through the leaf petiole, then perforates the leaf surface, and starts the roll at an edge parallel to the mid-vein.

La femmina del coleottero *Byctiscus populi* prima pratica un foro attraverso il picciolo della foglia, poi perfora la superficie della foglia, quindi inizia a realizzare il rotolo su un bordo parallelo alla nervatura centrale.

106.

Leaf rolling technique of the caterpillar *Striglina scitoria*. The larva rolls the leaf around itself with the aid of contractile silk threads.

Tecnica di arrotolamento delle foglie del bruco *Striglina scitoria*. La larva arrotola la foglia su se stessa con l'aiuto di fili di seta contrattili.

107.

The combined living quarters and capture device constructed by *Macronema transversum* caddis larva. Water is directed into and out of the chamber through two funnels. The larva waits for its prey in a side chamber next to a vertically positioned fine net.

L'alloggio combinato con il dispositivo di cattura costruito dalla larva di tricottero *Macronema transversum*. L'acqua è diretta dentro e fuori la camera attraverso due imbuto. La larva aspetta la preda in una camera adiacente accanto a una rete sottile disposta verticalmente.

108.

A greatly magnified section of the net of *Macronema zebrarum* larva, which contains 206,000 meshes. An even more incredible net is woven by *Dolophilodes distinctus* larva; the net may contain 100 million meshes.

Una sezione molto ingrandita della rete della larva di *Macronema zebrarum* contenente 206.000 maglie. Una rete ancora più incredibile è tessuta dalla larva *Dolophilodes distinctus*, essa può essere formata da 100 milioni di maglie.

towards it or moves on the ground, the spider spreads its legs and the elastic net over its prey; the net expands to more than twice its original size.

The prey-catching sandpit of the antlion (*Myrmeleontidae*) is very similar in principle to archaic human deer-catching pits. The animal invention appears simple, but the sequence of instinctive behaviour that produces this prey catch is rather demanding.

3.5 Food storage

In the fall, beavers cut down trees, which they transport to the lodge and store under water for winter use, while marmots (*Marmota*) and pikas (*Ochotona*) collect dry grass and herbs in their burrows; as much as 12 to 15 kilograms of hay has been found in a single marmot burrow. Squirrels hoard nuts and hazelnuts in holes dug at the foot of a tree, and woodpeckers store nuts in cavities specially carved for this purpose in tree trunks.

Moles hoard earthworms and other food in storage chambers or in their abandoned tunnels. They bite off the front part of the earthworm, making it unable to escape, but the worm remains alive and does not deteriorate; this is a manner of storing live food similar to the paralysing sting of wasps. The termite *Hodotermes mossambicus* stores freshly collected grass in special underground chambers close to the surface. As soon as fermentation has stopped, and there is no danger of poisonous gases getting into the living quarters, the hay is carried into storage chambers close to the nest proper. The bee cell is, of course, the most efficient means conceivable of storing maximum amount of honey with the minimum of material.

4. Communication

4.1 Transmission

Animal structures function not only as protection or instruments to catch prey; they may also facilitate communication. The webs of several species of spiders, for instance, inform the spider of the arrival and location of prey. In the case of the caddis larva *Plectrocnemia conspersa* the vibrations caused by the prey provoke a precisely directed attack; it has been demonstrated that the frequency of vibration determines the intensity of the attack.

Some spider species weave a highly visible staggered line in the central area of the net. This 'stabilomente' was first thought of as a means of structural reinforcement, but it seems to act as a visual signal to prevent large animals from damaging the web.

Animals have also invented devices to improve sound transmission. The male of the tree cricket (*Oecanthus burmeisteri*) cuts a hole in a leaf and, while singing, stands in the hole and presses its tegmen against the leaf, which acts as a resonator. The male mole cricket (*Gryllotalpa vineae*)

I fili e le ragnatele dei ragni sono un'altra meraviglia dell'architettura animale. Specie diverse di ragni hanno sviluppato differenti strategie per catturare le prede e differenti geometrie per le loro reti; ci sono circa trentacinquemila specie di ragni e ognuna ha filiere per la produzione della seta, tre paia in tutte le specie tranne le più primitive. Il ragno tesse una rete elastica di filo ritorto tra le zampe anteriori. Il ragno aspetta la vittima e, non appena un insetto vola verso di lui o si muove sul terreno, stende le zampe e la ragnatela elastica sulla preda; la rete si espande a più del doppio della sua dimensione originale.

La fossa di sabbia per catturare le prede dei formicaleoni (*Myrmeleontidae*) è, in linea di massima, molto simile alle fosse arcaiche realizzate dagli uomini per intrappolare i cervi. L'invenzione dell'animale pare semplice, ma la sequenza di comportamento istintuale che induce a realizzare un dispositivo del genere è piuttosto impegnativa.

3.5 Immagazzinare il cibo

Per i periodi di scarsità di cibo, i castori tagliano degli alberi, li trasportano nella tana e li conservano sott'acqua per usarli in inverno. Invece le marmotte (*Marmota*) e i pica (*Ochotona*) raccolgono erba secca ed erbe aromatiche e le immagazzinano nelle tane; sono stati trovati fino a dodici/quindici chilogrammi di fieno in una sola tana di marmotta. Gli scoiattoli stoccano noci e nocciole in buche scavate ai piedi degli alberi, mentre i picchi conservano le noci in cavità appositamente ricavate nei tronchi degli alberi.

Le talpe accumulano lombrichi e altro cibo in dispense apposite o nelle loro gallerie abbandonate. Esse mordono la parte anteriore del lombrico, impedendogli così di fuggire, ma il verme rimane in vita e non si decompone; è un modo di conservare il cibo vivo simile a quello della puntura paralizzante delle vespe.

La termite *Hodotermes mossambicus* ripone l'erba appena raccolta in speciali camere sotterranee in prossimità della superficie. Non appena la fermentazione si è conclusa, e quindi non c'è pericolo che i gas velenosi si diffondano negli alloggi, il fieno viene trasportato in camere di stoccaggio vicine al nido vero e proprio. La cella delle api è, naturalmente, il mezzo più efficiente concepibile per contenere la massima quantità di miele con il minimo di materiale.

4. Comunicazione

4.1 Trasmissione

Le strutture animali non funzionano solo come protezione o come trappole per catturare le prede; possono anche agevolare la comunicazione. Le ragnatele di diverse specie di ragni, per esempio, li informano sull'arrivo e sulla posizione della preda. Nel caso della larva di tricottero

digs a double-mouthed burrow in the ground, which functions as a horn-like amplifier to amplify and direct sound; the invention looks something like an early gramophone.

Animals also use warning display reinforced by an artefact. Members of the tropical American wasp species *Synoecca surinama* build their nest flush against a supporting surface, usually a tree trunk, and cover it with a single layered, brittle envelope. When the wasps are disturbed they produce a warning signal by vibrating the nest envelope, which produces a drumming sound.

4.2 Mate selection and reproduction

Animal artefacts also serve purposes of mate selection and reproduction.

The white booby (*Sula dactylatra*) goes through a complicated and elaborate ceremony of pretending to build a nest, but, in fact, it lays the egg on the bare ground; the couple collects thousands of pieces of twigs and pebbles which are arranged around the centre of the nest site. These symbolic acts of nest-building are stimulating to the birds and serve the purpose of forming a pair bond. In the balloon fly species (*Hilara sartor*), the courting males form dancing swarms and each male carries an empty silken balloon the size of its own body. The balloon, which is believed to be made from an anal gland secretion, serves to attract females. When the female has selected the male, she is presented with this gift. The behaviour has developed from the nuptial gifts of the dancing flies, originally prey insects to be given to the females.

In some species of spiders, the male also presents a gift, a prey insect wrapped in silk, to the female. In the case of spiders, the function of the offering is to prevent the female from killing the often much smaller male. In some orbweb spinning spiders the male constructs a separate mating thread attached to the web of the female for the same purpose; the male vibrates the auxiliary line and entices the female to enter the thread on which mating takes place.

The ghost crabs of the species *Ocypode saratan* live in burrows buried in the sand on the shore. The male uses excavated sand to build a sand pyramid near the burrow entrance to attract a female into his burrow. The nests of weaverbirds are built by the males. In the village weaverbird (*Ploceus cucullatus*) the male has a brightly coloured breeding plumage and displays it on the completed nest. The female carefully examines the nest inside and out, and if it satisfies her she mates with the builder; the female finishes the inside work of the nest. The nests are covered externally with fresh green leaf strips. The function of the fresh green leaves is to assure that the nest has not been built by another bird; if the male is not able to attract a female and the nest loses its green colour, he tears down the unsuccessful nest and builds a new one. Nest-building skill is so essential for weaverbirds that young males begin to practise nest construction before they are sexually mature.

Plectrocnemia conspersa le vibrazioni causate dalla preda scatenano un attacco mirato con precisione; ed è stato dimostrato che la frequenza della vibrazione determina l'intensità dell'assalto. Alcune specie di ragni tessono una linea a zig-zag molto visibile nella zona centrale della rete. Inizialmente si pensava che tale "stabilizzatore" fosse pensato come meccanismo di consolidamento strutturale, in realtà pare che agisca da segnale visivo per evitare che degli animali grandi danneggino la rete.

Gli animali hanno anche inventato dispositivi per migliorare la trasmissione del suono. Il maschio del grillo arboricolo (*Oecanthus burmeisteri*) perfora una foglia e, mentre cinguetta in piedi di sopra di essa, preme le elitre contro la sua superficie, che fa da cassa di risonanza. Il grillo talpa maschio (*Gryllotalpa vineae*) scava nel terreno una tana con una doppia apertura che funziona come un corno acustico, per amplificare e orientare il suono; l'invenzione assomiglia a un vecchio grammofono.

Gli animali ricorrono anche a un segnale di avvertimento amplificato da un artefatto. I membri della specie di vespa tropicale americana *Synoeca surinama* costruiscono il loro nido a filo di una superficie di supporto, di solito un tronco d'albero, e lo ricoprono con un involucro fragile formato da un unico strato. Quando le vespe vengono disturbate, emettono un segnale d'allarme facendo vibrare l'involucro del nido, che produce un suono tambureggiante.

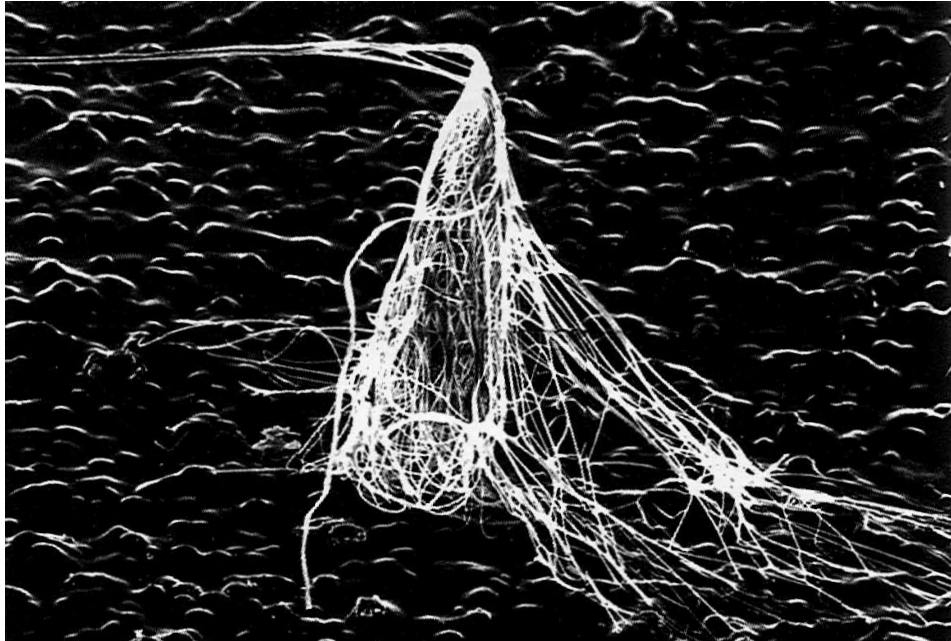
4.2 Selezione del compagno e riproduzione

Gli artefatti animali servono anche per la selezione del compagno e per la riproduzione.

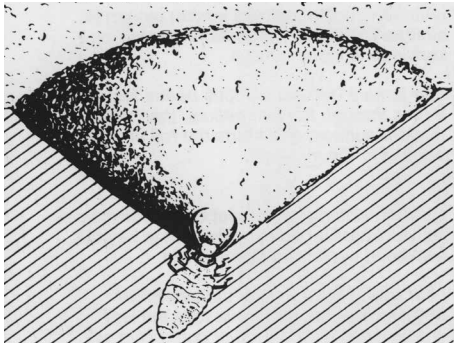
La sula mascherata (*Sula dactylatra*) mette in scena una complicata ed elaborata cerimonia nella quale finge di costruire un nido, ma in realtà depone l'uovo sulla nuda terra; la coppia raccoglie migliaia di pezzi di ramoscelli e di sassolini che vengono disposti intorno al centro del sito prescelto per la nidificazione. Questi atti simbolici di costruzione del nido sono stimolanti per gli uccelli e servono a stabilire un legame di coppia.

Nella specie di mosca palloncino (*Hilara sartor*), durante il corteggiamento i maschi formano sciami danzanti e ogni maschio trasporta un palloncino di seta vuoto, grande quanto il proprio corpo. Il palloncino, che si ipotizza essere prodotto da una secrezione della ghiandola anale, serve ad attirare la femmina, alla quale, dopo che ha scelto il maschio, viene donato come regalo. Il comportamento si è sviluppato dai doni nuziali delle mosche danzanti, i quali, in origine, erano prede da elargire alle femmine.

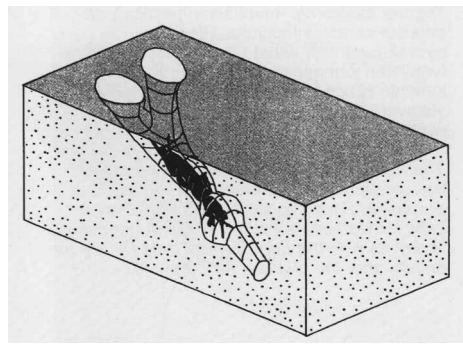
Anche in alcune specie di ragno il maschio offre alla femmina un regalo avvolto nella seta contenente un insetto. Nel caso dei ragni, la funzione dell'offerta è di evitare che la femmina uccida il maschio, spesso molto più piccolo. In alcuni ragni che filano ragnatele orbitali, il maschio



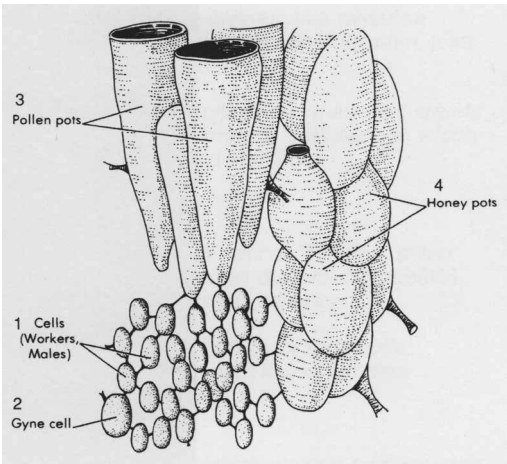
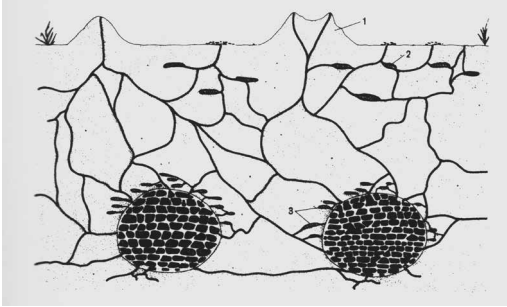
109. Microscope magnification of the subtle attachment of the signal line of *Uroctea durandi* to the ground. Ingrandimento al microscopio del sottile attaccamento al suolo della linea segnale di *Uroctea durandi*.



110. The ant lion (*Myrmeleon formicarius*) lies in wait for prey buried at the bottom of its conical sand pit. Il formicaleone (*Myrmeleon formicarius*), sepolto nel fondo della sua fossa di sabbia conica, è in agguato per catturare una preda.



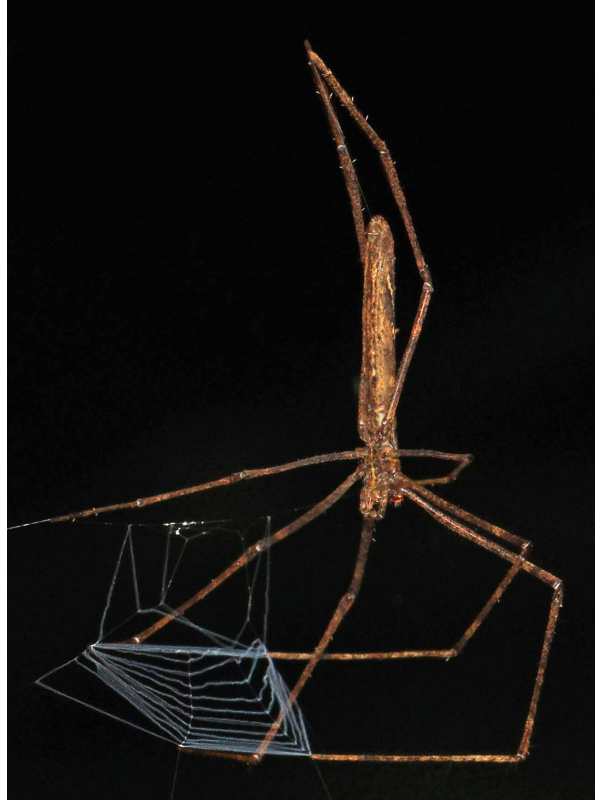
111. The mole cricket *Gryllotalpa vineae* constructs a double-horned entrance to its burrow, which functions as a sound amplifier (after Hansell). Il grillotalpa *Gryllotalpa vineae* costruisce nella sua tana un ingresso a doppio corno che funziona come un amplificatore (secondo Hansell).



112.
Section through two ground nests of *Hodotermes mossambicus* termites: (1) Excavated soil; (2) Chambers near the surface for storing fresh grass; (3) Deep chambers close to the nest for dried hay.

Sezione trasversale di due termitai sotterranei di *Hodotermes mossambicus*: (1) terriccio di scavo; (2) camere superiori per lo stoccaggio di erba fresca; (3) camere inferiori, prossime al nido, nelle quali viene riposto il fieno già pronto.

113.
The nest of the meliponine bee *Trigona flavicornis* contains different pots for various purposes. Small globular pots (1) are larval cells for worker males; the single larger cell (2) is a gyne cell; the huge conical pots (3) are for pollen; and the globular for honey (4).
Il nido dell'ape meliponina *Trigona flavicornis* contiene vasi diversi per scopi differenti. (1) I piccoli vasi globulari sono celle larvali per i maschi lavoratori; (2) la singola cella più grande è destinata a cella ginecologica; (3) gli enormi vasi conici contengono il polline; (4) i vasi globulari contengono il miele.



114.
The *Deinopis longipes* spider weaves an elastic net of hackled thread between its front legs. When an insect approaches, it spreads its legs and the elastic net over its prey.

Il ragno *Deinopis longipes* tesse tra le zampe anteriori una rete elastica di filo ritorto. Quando un insetto si avvicina, stende le zampe e lancia la rete elastica sulla preda.

The male wren (*Troglodytes troglodytes*) builds several rough nests, which he shows to a female. The female chooses one and then proceeds to finish the nest. While the female is finishing the nest, the male shows his remaining nests to other females. The unsuccessful males are unable to mate, and this practice seems to serve the purpose of gradually improving the bird's nest-building skills. The most impressive examples of nest construction for signal purposes in mate selection are the bowers built by the bowerbirds (*Ptilonorhynchidae*) living in Australia and New Guinea. The males have a fairly inconspicuous plumage; the display function of the feathers of the male has been transferred to an elaborate external construction. The male selects materials and objects for his bower with great care, usually preferring a particular colour. The bower may also be painted with fruit pulp or be decorated with flowers. In the vicinity of human settlements the birds also display bottle caps, metal buttons and other small glittering objects. After mating, the female builds a humble breeding nest of her own hidden in vegetation. Some bowerbird species erect a cone-shaped maypole around a small tree, which may be higher than man, and decorate the structure with bones and coloured objects such as fruits and flowers.

5. Decoration

The suggestion that animal architects may apply ornament to their constructions should not be taken too seriously. However, some animal behaviour related to nest construction looks like superfluous decoration, lacking other obvious function in the structure.

There is evidence that nest materials and handling of nest materials are sexually stimulating to certain birds. During courtship, the male African waxbill (*Estrilda astrild*) holds a feather in his beak. In other species the male holds a piece of grass, or uses nest-building movements as a nesting symbol. Flower decorations are frequently used to court the female by male black-throated weavers (*Ploceus benghalensis*) and striated weavers (*Ploceus manyar*) living in India; the male dabs wet mud on to the nest chamber and implants brightly coloured – red, orange, yellow, blue, or white – flowers or flower petals in it. The paradise riflebird (*Ptiloris paradiseus*) of Australia often decorates its nest with a discarded snake-skin, while the crested bellbird (*Oreoica gutturalis*), another Australian species, puts hairy caterpillars on the rim of its nest.

The avenues, stages, bowers and maypoles of the bowerbirds possess distinct decorative qualities, as has already been mentioned. The bowerbirds decorate their courts and bowers with colourful fruits, berries and flowers, shiny objects such as insect exoskeletons, and a variety of other materials – feathers, leaves, moss lichens, stones, bones, snail-shells, and pieces of charcoal.

Different species of bowerbirds prefer different colours: the avenue builders *Ptilonorhynchus*

produce un filo di accoppiamento separato, ma attaccato alla ragnatela della femmina, per la stessa ragione; il maschio fa vibrare il filo ausiliario e invoglia la femmina a salire sul filo, sul quale avviene l'accoppiamento.

I granchi fantasma della specie *Ocypode saratan* vivono sulla spiaggia in tane sepolte nella rena. Il maschio utilizza la sabbia scavata per costruire una piramide vicino all'entrata in modo da attirare una femmina nel nido.

I nidi degli uccelli tessitori vengono costruiti dai maschi. Nell'uccello tessitore gendarme (*Ploceus cucullatus*) il maschio ha un piumaggio da riproduzione dai colori vivaci e lo esibisce sul nido una volta completato. La femmina esamina attentamente il nido all'interno e all'esterno, e, se ne è soddisfatta, si accoppia con il suo costruttore; dopo di che è lei a portare a termine il lavoro dentro il nido. I nidi vengono ricoperti esternamente con strisce di foglie verdi fresche la cui funzione è assicurare che non siano stati costruiti da un altro uccello. Se il maschio non è in grado di attrarre una femmina e il nido perde il suo colore verde, distrugge il nido che non ha avuto successo e ne realizza uno nuovo. L'abilità nella costruzione dei nidi è talmente essenziale per gli uccelli tessitori che i giovani maschi iniziano a impraticarsi in un'arte del genere ancor prima di essere sessualmente maturi.

Il maschio dello scricciolo comune (*Troglodytes troglodytes*) realizza diversi nidi grezzi, che esibisce alla femmina, la quale ne sceglie uno per poi procedere al suo completamento. Mentre lei lo sta ultimando, il maschio mostra i nidi rimanenti ad altre femmine. Coloro che falliscono non riescono ad accoppiarsi; sembrerebbe che una pratica del genere abbia lo scopo di far migliorare gradualmente le capacità edificatorie degli uccelli.

Gli esempi più impressionanti di nidi costruiti per scopi segnaletici funzionali alla selezione del compagno sono i pergolati realizzati dagli uccelli giardinieri (*Ptilonorhynchidae*), che vivono in Australia e in Nuova Guinea. I maschi hanno una livrea abbastanza poco appariscente; la funzione di visualizzazione ricoperta dalle piume è stata trasferita a una elaborata costruzione esterna. Il maschio seleziona materiali e oggetti per il suo pergolato con grande cura, di solito preferendo un colore particolare. Il pergolato può anche essere dipinto con della polpa di frutta o venire decorato con dei fiori. Nelle vicinanze degli insediamenti umani gli uccelli esibiscono anche tappi di bottiglia, bottoni di metallo e altri piccoli oggetti scintillanti. Dopo l'accoppiamento, la femmina costruisce un umile nido per la riproduzione nascosto nella vegetazione. Alcune specie di uccelli giardinieri erigono un palo a forma di cono attorno a un piccolo albero, che può essere più alto di un uomo, e decorano la struttura con ossa e oggetti colorati come frutta e fiori.

prefer blue, while *Chlamydera* prefer white, green, or blue, and the maypole builders *Amblyornis* favour red and yellow objects. The shiny blue objects selected by the male satin bowerbird (*Ptilonorhynchus violaceus*) resemble the lilac-blue colour of his eyes and his shiny blue-black plumage. Bees, otherwise the mathematicians of the animal world, also have a trace of decoration. They build their cells precisely in a hexagonal configuration, but they apply the hexagonal pattern also on the outer surface of the larger queen cells of different shape as a superfluous decoration in the course of their modelling work.

Methods of construction

Hansell divides the methods that animals use in their constructions into seven types:

1. Sculpting
2. Piling up
3. Moulding
4. Rolling and folding
5. Sticking together
6. Weaving
7. Sewing

He points out that any manufactured artefact results from two interrelated choices of material and of method of manufacture. Most of the material used by animals are also used by Man, and because of the constraints imposed by those materials, the construction methods of animal architects have close parallels with our own constructions.

1. Excavating and carving

Sculpting is a subtractive method in which material is gradually removed from the initial mass. Several genera of bivalve molluscs sculpt their burrows into wood or rock. Some piddocks (e.g. *Pholas dactylus*) slowly bore themselves into solid rock. They use their foot as a lever by which they move their shells, which are provided with extremely hard surface projections, back and forth to scrape the rock and slowly hollow out a burrow. *Lithophaga* bores its cavity chemically by applying the glandular area of its mantle to the rock wall, which is dissolved by an acid secretion of the animal. Many species of solitary wasps dig nest burrows into the ground. The comb of the mining bee (*Halictus quadricinctus*), which has a ventilation tube through the nest, is a masterpiece of carving stabilised by hardening secretion.

The capture pit of the ferocious predator of ants, the antlion, has already been mentioned in the section describing artifacts for prey capture. When digging the pit, the antlion throws grains of

5. Decorazione

L'idea che gli animali architetti possano applicare ornamenti alle proprie costruzioni non dovrebbe essere presa troppo sul serio. Comunque, alcuni loro comportamenti legati alla realizzazione del nido sembrano riguardare decorazioni superflue, prive di altre funzioni evidenti nella struttura. È dimostrato che i materiali del nido e la loro manipolazione sono sessualmente stimolanti per alcuni uccelli. Durante il corteggiamento, il maschio dell'astrilde di Sant'Elena (*Estrilda astrild*) tiene una piuma nel becco. In altre specie il maschio tiene un pezzo d'erba o mima i movimenti per la costruzione del nido con lo scopo di indicare la nidificazione. Di frequente, le decorazioni floreali vengono utilizzate dai maschi di tessitore dal petto nero (*Ploceus benghalensis*) e di tessitore striato (*Ploceus manyar*), che vivono in India, per corteggiare la femmina; il maschio applica del fango bagnato sulla camera del nido e vi impianta fiori o petali dai colori vivaci: rosso, arancio, giallo, blu o bianco. L'uccello fucile del paradiso (*Ptiloris paradiseus*) dell'Australia decora spesso il nido con della pelle della muta del serpente, mentre il campanaro crestato (*Oreoica gutturalis*), un'altra specie australiana, dispone dei bruchi pelosi sul bordo del nido.

I viali, i palchi, i pergolati e i "pali di maggio" degli uccelli giardinieri possiedono qualità decorative distintive, come è già stato menzionato. Gli uccellini addobbano i cortili e i pergolati con frutti colorati, bacche e fiori, oggetti lucidi, come esoscheletri di insetti, e una varietà di altri materiali: piume, foglie, muschio, licheni, pietre, ossa, conchiglie e pezzi di carbone.

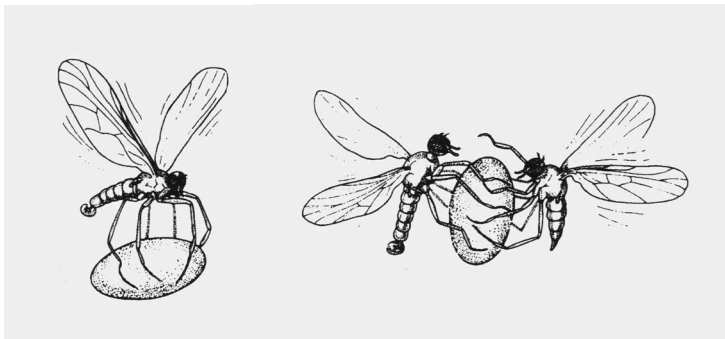
Specie diverse di uccelli giardinieri preferiscono colori diversi: il giardiniere satinato (*Ptilonorhynchus*) predilige il blu, mentre il *Chlamydera* il bianco, il verde o il blu, e gli uccelli giardinieri costruttori dei "pali di maggio" (*Amblyornis*) propendono per oggetti rossi e gialli. Gli oggetti blu lucidi scelti dal maschio di giardiniere satinato (*Ptilonorhynchus violaceus*) ricordano il colore blu-lilla dei suoi occhi e il suo piumaggio blu-nero lucente.

C'è pure nelle api, per il resto i matematici del mondo animale, una traccia di decorazione. Costruiscono le loro celle con una precisa configurazione esagonale, ma, nel corso del lavoro di modellazione, applicano come decorazione superflua il motivo esagonale anche sulla superficie esterna delle celle dell'ape regina più grandi e di forma diversa.

Metodi di costruzione

Hansell suddivide i metodi utilizzati dagli animali nelle costruzioni in sette tipi:

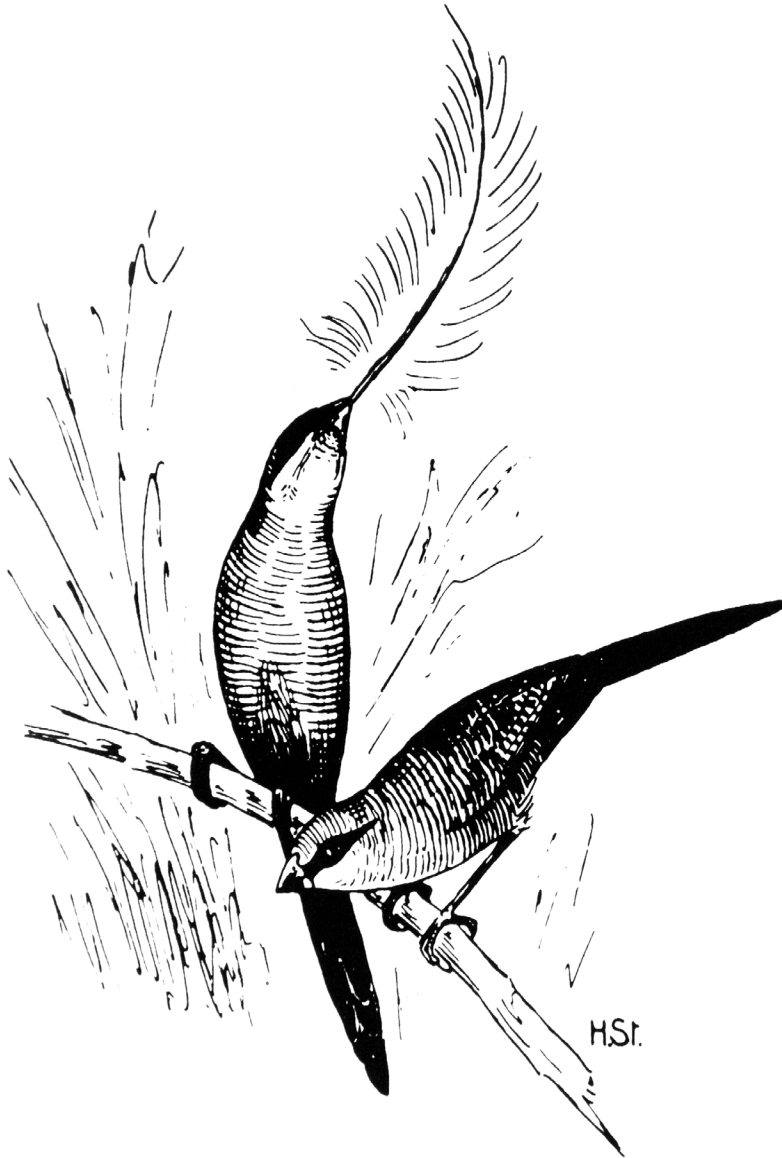
1. scolpire
2. accumulare
3. plasmare
4. arrotolare e piegare



115.
Courting males of the balloon fly *Hilara sartor* form dancing swarms, and the males carry empty balloons to attract a female; when the female has selected a male, she is presented with this gift before copulation takes place.
 I maschi della mosca palloncino *Hilara sartor* formano sciami danzanti e trasportano palloncini vuoti per attirare una femmina; quando la femmina ha scelto un maschio, le viene offerto come dono prima dell'accoppiamento.

116.
A male golden weaverbird *Ploceus subaureus* hangs below its nest and flaps its wings to attract a female. A female who chooses the nest finishes the inside after mating. The male dismantles a nest that has failed to attract a female.
 Un maschio di tessitore dorato *Ploceus subaureus* è appeso nella parte inferiore del nido e sbatte le ali per attirare una femmina. Una femmina che sceglie il nido ne rifinisce l'interno dopo l'accoppiamento. Al contrario, il maschio che non è riuscito ad attirare una femmina lo smantella.

117.
The male bowerbirds construct amazingly large and colourful structures to attract females. The bowers are a means of adding to the attractiveness of the otherwise humble looking bird.
A high maypole of the golden bowerbird (*Prionodura newtoniana*).
 I maschi degli uccelli giardinieri realizzano strutture incredibilmente grandi e colorate per attirare le femmine. I pergolati sono un modo per dare seduttività a questo uccello dall'aspetto altrimenti dimesso.
 Un alto palo di maggio dell'uccello giardiniere dorato o uccello giardiniere di Newton (*Prionodura newtoniana*).



118.

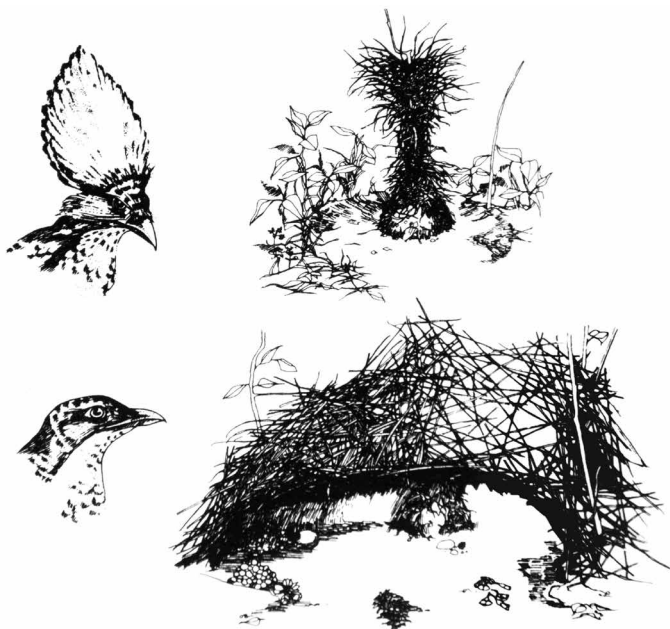
The male waxbill (*Estrilda astrild*) holds a feather in his beak while courting the female. Handling of nest materials appears to be sexually stimulating for birds.

Il maschio dell'astrilde di Sant'Elena (*Estrilda astrild*) tiene una piuma nel becco mentre corteggia la femmina. La manipolazione dei materiali del nido sembra essere sessualmente stimolante per gli uccelli.



119.
The shiny blue objects collected by the male satin bowerbird (*Ptilonorhynchus violaceus*) resemble the lilac-blue colour of his eyes and his shiny blue-black plumage.
Gli oggetti azzurri lucidi raccolti dal giardiniere satinato (*Ptilonorhynchus violaceus*) ricordano il colore blu-lilla dei suoi occhi e del suo piumaggio blu-nero lucido.





120.

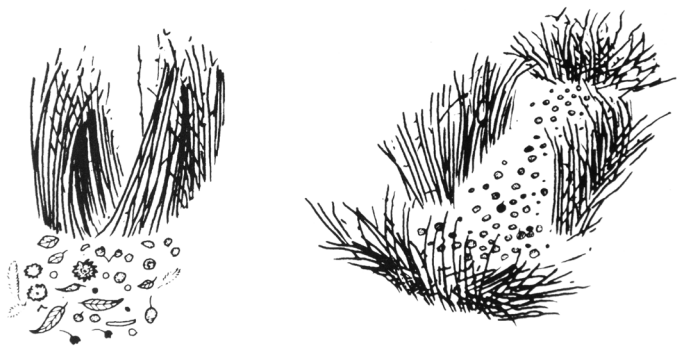
The drawings show the relation between the crest and the bower between two bowerbirds of the genus *Amblyornis*.

I disegni mostrano la relazione tra la cresta e la pergola dei due uccelli giardinieri del genere *Amblyornis*.

121.

Bower types of the satin bowerbird *Ptilonorhynchus violaceus* and the Lauterbach bowerbird *Chlamydera lauterbachii*.

Tipi di pergolato del giardiniere satinato *Ptilonorhynchus violaceus* e dell'uccello giardiniere pettogiallo o clamidera pettogiallo, anche noto come uccello giardiniere di Lauterbach (*Chlamydera lauterbachii*).



122.

The nest of the osprey
(*Pandion haliaetus*)
compiled of branches.

Il nido del falco
pescatore (*Pandion
haliaetus*) è fatto di
rami.



sand at an angle of 45 degrees to maximise the distance that the larger particles are thrown, but toward the end of the construction the larva uses a 60 degree trajectory to reduce the number of small particles to be thrown out of the pit; the finer grains create a steeper and more slippery surface and thus improve the efficiency of the trap.

A number of mammals (badgers, moles, prairie-dogs, marmots, etc.) and birds also excavate their nest cavities. The nest cavities of woodpeckers carved into trees are worth a special mention, since many other animal species, unable to carve wood, find their nesting sites in cavities originally excavated by woodpeckers.

2. Piling Up

The construction method of piling up implies picking up building material, carrying it to the site and placing it on the construction without the use of an adhesive or bond. The method of piling up is common among the families of large birds, e.g. eagles, pelicans, storks and crows.

Even in this apparently simple construction method, the behavioural pattern is fairly complex, and some degree of weaving together of twigs or fibres frequently occurs. Another element in piling up is the selection and use of different materials for structural purposes of the nest proper and for the interior layers of the nest cup. Nests of this type often contain several materials. For example, the nest of the rook (*Corvus frugilegus*) contains five different layers: thick twigs as the main structure; thin and partly woven twigs inside the cup around the rim; moss and clay at the bottom; two layers of nest-cup lining (grass, leaves, moss, plant stems).

The black wheatear (*Oenanthe leucura*) builds its cup-shaped nest on rocky ground on a bed of pebbles. Compared to the small size of the bird the piled-up pebble base, made of several hundreds of pebbles, is immense. The well-digger jawfish (*Opistognathidae*) dig a vertical well, up to one meter deep, which they line with pebbles and shells of snails and bivalves, in a manner greatly resembling human mortarless masonry work.

3. Moulding

The method of moulding implies working a plastic material into a distinct shape. This includes the two processes of modelling an amorphous lump of plastic material into a desired shape, and of extruding a self-secreted plastic material through a fine die and then making a structure of the threads. This method of moulding requires delicate co-ordination and suitable body parts as proper working tools.

5. incollare
6. tessere
7. cucire.

Lo studioso sottolinea il fatto che qualsiasi manufatto è l'esito di due scelte interrelate: quella del materiale e quella del metodo di fabbricazione. La maggior parte dei materiali utilizzati dagli animali sono impiegati anche dall'uomo e, a causa dei vincoli imposti dai materiali stessi, i metodi di costruzione degli animali architetti assomigliano molto a quelli nostri.

1. Scavare e scolpire

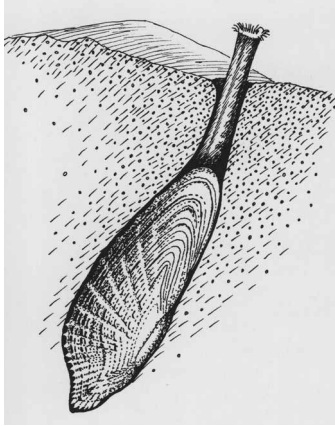
La scultura è un metodo sottrattivo in cui il materiale viene gradualmente rimosso dalla massa iniziale. Diversi generi di molluschi bivalvi scolpiscono le loro tane nel legno o nella roccia. Alcuni datteri bianchi (per esempio il *Pholas dactylus*) si insinuano nella roccia solida, poi usano il loro piede a mo' di una leva per muovere in avanti e indietro i loro gusci, dotati di sporgenze superficiali estremamente dure, per raschiare la roccia e scavare gradualmente una tana. Il dattero di mare (*Lithophaga*) ricava la sua cavità chimicamente, ossia applicando l'area ghiandolare del suo mantello alla parete rocciosa, che viene sciolta da una secrezione acida dell'animale.

Molte specie di vespe solitarie scavano dei tunnel nel terreno per realizzare il nido. Il favo dell'ape scavatrice (*Halictus quadricinctus*), che è attraversato da un tubo di ventilazione, è un capolavoro di intaglio stabilizzato con una secrezione indurente.

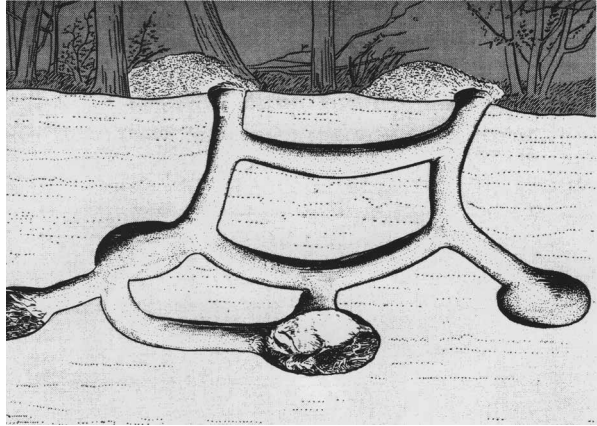
La trappola del formicaleone, il feroce predatore di formiche, è già stata menzionata nel paragrafo che descrive i meccanismi per catturare le prede. Quando scava la fossa, l'animale lancia i granelli di sabbia con un angolo di quarantacinque gradi per massimizzare la distanza alla quale le particelle più grandi vengono gettate, ma verso la fine della costruzione la traiettoria diventa di sessanta gradi in modo da ridurre il numero di piccole particelle lanciate fuori dalla fossa; i granelli più fini creano una superficie più ripida e scivolosa e quindi migliorano l'efficacia della trappola. Pure un certo numero di mammiferi (tassi, talpe, cani della prateria, marmotte, ecc.) e uccelli scava per ricavare il proprio nido. I nidi dei picchi incavati negli alberi meritano una menzione speciale, perché molte altre specie animali, incapaci di intagliare il legno, trovano i loro siti di nidificazione in cavità originariamente realizzate dai picchi.

2. Accatastare

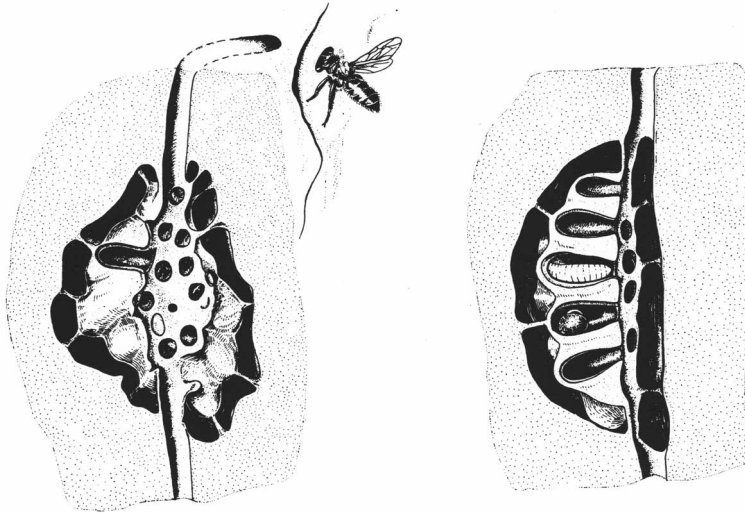
Il metodo di costruzione dell'accatastamento implica la raccolta di materiale da costruzione, il trasporto sul sito e la sua collocazione sulla costruzione senza ricorrere ad alcun adesivo o



123.
Some piddocks (e.g. *Pholas dactylus*) slowly bore themselves into solid rock (after *The Random House Encyclopedia*).
Alcuni datteri di mare (per esempio il dattero bianco *Pholas dactylus*) forano lentamente la solida roccia (fonte *The Random House Encyclopedia*).



124.
The set of the badger (*Meles meles*).
La tana del tasso (*Meles meles*).



125.
The comb of the mining bee (*Halictus quadricinctus*) dug into a clay wall is provided with a ventilation tube through the nest. The structure is reinforced with hardening secretion of the insect.
Il favo dell'ape scavatrice (*Halictus quadricinctus*) scavato in una parete argillosa è dotato di un tubo di ventilazione che attraversa il nido. La struttura è rinforzata con una secrezione indurente prodotta dall'insetto.

126.

A solitary potter wasp (*Eumenes*) places a paralysed insect into its cell molded of clay.

Una vespa vasaio solitaria (*Eumenes*) depone un insetto paralizzato nella sua cella di argilla.



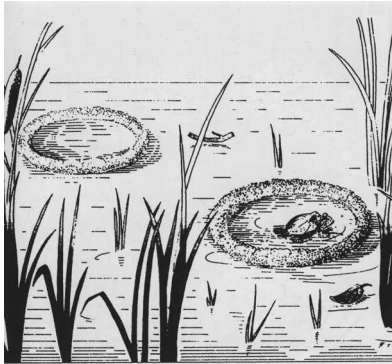


127.
The *Gnathypops rosenbergi* in its well dug into the bottom and lined with pebbles and shells of snails and bivalves. Il pesce opistognato *Gnathypops rosenbergi* nel suo pozzo scavato nel fondale e rivestito di ciottoli e conchiglie di gasteropodi e bivalvi.



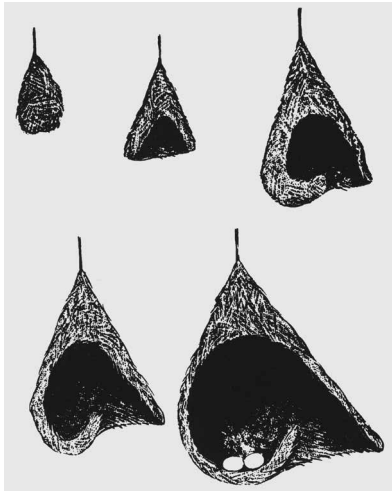
128.
The wrasse *Crenilabrus ocellatus* builds a nest of algal strands.

Il tordo ocellato (*Crenilabrus ocellatus*) costruisce il nido con filamenti di alghe.



129.
The Brazilian tree frog (*Hyla faber*) models a circular mud wall, 30 cm in diameter and 10 cm in height, as protection for its offspring.

La raganella fabbro del Brasile (*Hyla faber*) modella un muro di argilla circolare di 30 cm di diametro e 10 cm di altezza per proteggere la prole.



130.
The sulphur-rumped flycatcher (*Myiobius barbatus*) shapes its nest by gradually hollowing the nest cavity into a suspended fibre ball (secondo Nicholas E. Collias and Elsie C. Collias).

Il pigliamosche dalla groppa di zolfo (*Myiobius barbatus*) modella il nido scavando gradualmente la cavità della tana in una palla sospesa formata da fibre (secondo Nicholas E. Collias e Elsie C. Collias).

3.1 Modelling

Modelling is commonly used by animals with mouthparts capable of precision manipulation. The delicacy of this construction method is exemplified by the cell of the honeybee. The bee is able to determine the deflection of a wall under the pressure of its mandibles through precision measuring by the tips of its antennae: a precise and uniform wall thickness of 0.073 millimetres is achieved. The Brazilian tree frog (*Hyla faber*) – the builder by its Latin name – fashions a crater-shaped nest for its progeny, 10 centimetres in wall height and 30 centimetres in diameter. The work is done by its big forelegs, in very much the way a human mason uses a trowel. A unique moulding technique is used by the sulphur-rumped flycatcher (*Myiobius barbatus*) to shape its suspended nest. The bird matts plant fibres together to form an initial suspended fibre ball into which it gradually hollows the nest cavity from below. The bird has a reflex of adding new material always on the thinnest side of the nest, and this behaviour gradually results in an even thickness of the nest walls. This method resembles the method by which wasps mould plant fibres into shape with their mandibles. The common bush-tit (*Psaltriparus minimus*) uses a similar moulding technique in a nest built of spider silk and plant fragments and suspended from a twig frame. The bird uses its body gradually to stretch the elastic cup into a deep bag. The completed nest is provided with a roof and an entrance at the side.

The ovenbirds (*Furnarius leucopus*) carry about 2,000 lumps of clay to their construction site and mix vegetable debris, straw and cow dung or other faeces with the clay to give more cohesion to their building material. This is exactly what human mud builders do in Africa and elsewhere.

Wasps mould their paper, carton or mud nests using their mandibles or abdomens as tools to press, spread and smooth the elastic material.

The ceramic clay constructions of tropical wasps are often stunning masterpieces of construction. *Polybia singularis* builds a nest suspended from a branch made of extremely fine clay: the nest may weigh up to 1.5 kilograms and has a vertical slit as the flight hole to enable wasps to enter all the horizontally suspended floor combs.

Polybia scruellaris from North America builds an imposing paper nest with sharp, pointed excrescences, which are intended to discourage predators but also serve a double function - the studs are hollow inside and are used to store honey.

Termite nests are also constructed by a moulding technique using various mixtures of mud, sand and excrement as the building material.

A problem in modelling is to make the material suitably viscous. A house martin (*Delichon urbica*) collecting a load of mud first gathers firm material from around the edge of a pond in its beak. When its beak is full, the bird takes softer mud at the water's edge on top of its beak. As the bird

legante. Tale metodo è comune fra le famiglie di grandi uccelli, ad esempio le aquile, i pellicani, le cicogne e i corvi.

Anche in un metodo di costruzione apparentemente semplice come questo, il modello comportamentale è piuttosto complesso, tanto da richiedere spesso un qualche lavoro d'intreccio di ramoscelli o fibre. Un altro elemento dell'accatastamento è la selezione e l'impiego di materiali diversi per la struttura del nido vero e proprio e per gli strati interni della sua coppa. Nidi di questo tipo contengono spesso svariati materiali. Il nido del corvo comune (*Corvus frugilegus*), per esempio, conta cinque diversi strati: ramoscelli spessi come struttura principale; ramoscelli sottili e parzialmente intrecciati all'interno della coppa lungo il bordo; muschio e argilla sul fondo; due strati di rivestimento della coppa-nido (erba, foglie, muschio, steli di piante).

La monachella nera (*Oenanthe leucura*) costruisce un nido a forma di coppa su un terreno roccioso sopra un letto di ciottoli. Rispetto alle piccole dimensioni dell'uccello, la base di sassi ammassati, composta da diverse centinaia di sassolini, è immensa. I pesci opistognati (*Opistognathidae*) scavano un pozzo verticale, profondo fino a un metro, e lo rivestono con ciottoli e conchiglie di lumache e bivalvi, in un modo che assomiglia molto ai muri a secco opera dell'uomo.

3. Plasmare

Plasmare comporta la lavorazione di un materiale duttile in una forma dai tratti distintivi, operazione che comprende i due processi della sagomatura di un grumo informe di materiale plastico nella configurazione desiderata e dell'estrusione del materiale secreto da una filiera di precisione, cui segue la realizzazione di una struttura composta da fili. Un metodo di modellazione simile richiede una coordinazione delicata e parti del corpo idonee come strumento di lavoro.

3.1 Modellare

La modellazione è comunemente messa in atto dagli animali dotati di un apparato orale capace di manipolazioni di precisione. La raffinatezza di questo metodo di costruzione è esemplificata dalla cella dell'ape. L'ape è in grado di determinare la deflessione di una parete sotto la pressione esercitata dalle mandibole attraverso una misurazione accuratissima eseguita con le punte delle sue antenne: così riesce a ottenere uno spessore della parete corretto e uniforme pari a 0,073 millimetri.

La raganella brasiliana (*Hyla faber*) – il termine latino *faber* significa fabbro – modella per la prole un nido a forma di cratere con un bordo alto dieci centimetri e un diametro di trenta. Il lavoro viene eseguito con le grandi zampe anteriori in modo molto simile a come un muratore usa la cazzuola. Il pigliamosche barbuto (*Myiobius barbatus*) ricorre a una tecnica unica per modellare

applies the mud to the nest rim, it agitates the material with a vibrating movement. The soft mud contacts the nest rim first and forms a weld between the already somewhat dried construction and the new material. Certain wasps have been observed to use vibration to speed up the process, to strengthen the weld, and to even eliminate air bubbles from the moulded material in the way that we use vibrators to improve a concrete pour. Vibrating movements have also been observed in the white-winged chough (*Corcorax melanorhamphus*), to facilitate the flow of mud between plant fibres in the compound material of plant fibre in a mud matrix that the bird uses; the fibres are clearly used as reinforcement.

3.2 Extrusion and spinning

A unique moulding material and technique is used by the swiftlets *Collocalia* living in southern Asia and Indonesia, which build edible nests of their hardened saliva. As breeding time approaches, the salivary glands of the bird swell enormously. They build their nest as a shallow cup cantilevered from a rock face; they first place their saliva, which is a viscid and fast-drying fluid, on the stone with their tongue and, tracing a semicircle for the suspension surface, they build up the console-shaped nest. The eggs are laid directly in the nest cup, without any lining.

In the Lepidopteran and Trichopteran larvae, the silk threads are extruded through paired external openings in the labium to the silk glands located in the head. In most of these species, the two threads fuse into a single strand.

The manifold nets of spiders with their different types of threads, attachments, connections, joints and other microscopical refinements belong to the finest constructions of the animal world.

The suspension nets of various species of spiders have been extensively and microscopically studied at the Institute of Light Tensile Structures at the University of Stuttgart under the direction of Frei Otto, and the studies have revealed a stunning structural intricacy and logic in these constructions that the spiders have developed during tens of millions of years. As our own tensile structures become more refined, they seem to resemble the details of spider constructions.

Spiders have three pairs of spinnerets and, connected with them, seven kinds of silk glands, more than one of which is associated with each pair of spinnerets. Silk used for different tasks results from the combination of threads extended from one or more pairs of spinnerets.

The garden spider, for instance, produces five different kinds of thread for different structural purposes:

- Drag-line. The spider emits a drag-line as it walks, produced by *Glandulae ampullaceae* glands. The drag-line serves as a safety line for the spider, but it is also used as a ballooning thread for flying or creating bridges.

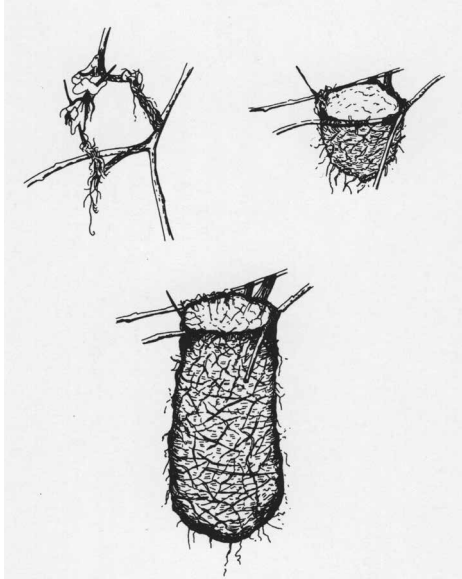
il proprio nido sospeso. L'uccello aggroviglia delle fibre vegetali fino a formare un iniziale gomitolo di filamenti sospeso nel quale gradualmente, a partire dal basso, modella la cavità del nido. L'uccello ha il riflesso condizionato di aggiungere del nuovo materiale sempre sul lato più sottile, e tale comportamento porta a uniformare progressivamente lo spessore delle pareti. Un metodo del genere assomiglia a quello con cui le vespe modellano le fibre delle piante con le loro mandibole. Il codibugnolo americano (*Psaltriparus minimus*) ricorre a una tecnica di conformazione simile per realizzare un nido, intessuto con fili di seta di ragno e frammenti di piante, che viene sospeso su un telaio di ramoscelli. L'uccello utilizza il proprio corpo per allungare gradualmente la coppa elastica in un sacco profondo. Il nido finito ha una copertura e un'entrata laterale. I *Furnarius leucopus* trasportano circa duemila grumi di argilla al sito di costruzione e li mescolano insieme a detriti vegetali, paglia e sterco di mucca o altre feci, per dare più coesione al materiale; il che è esattamente quello che fanno gli uomini che costruiscono con il fango in Africa e in altre parti del mondo.

Le vespe modellano dei nidi di carta, cartone o argilla utilizzando le mandibole o l'addome come strumenti per compattare, stendere e lisciare il materiale elastico.

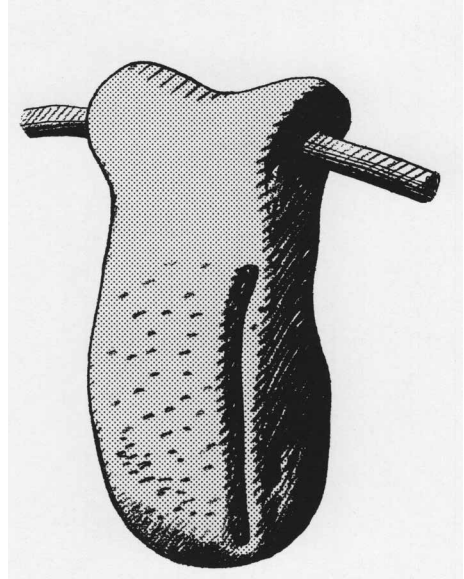
Le costruzioni di argilla delle vespe tropicali sono spesso dei capolavori straordinari. Il vespe *Polybia singularis* realizza un nido fatto di argilla finissima appeso a un ramo: esso può arrivare a pesare fino a un chilo e mezzo ed è dotato di una fessura verticale utilizzata come foro di accesso per permettere alle vespe di entrare in tutti i piani dei favi disposti orizzontalmente.

La *Polybia scutellaris* del Nord America costruisce un imponente nido di carta con escrescenze acuminata e taglienti che hanno lo scopo di scoraggiare i predatori, ma anche un'altra funzione: poiché le borchie sono cave all'interno, esse vengono utilizzate per immagazzinare il miele. Pure i termitai vengono realizzati con una tecnica di modellazione che impiega come materiale da costruzione varie miscele di fango, sabbia ed escrementi.

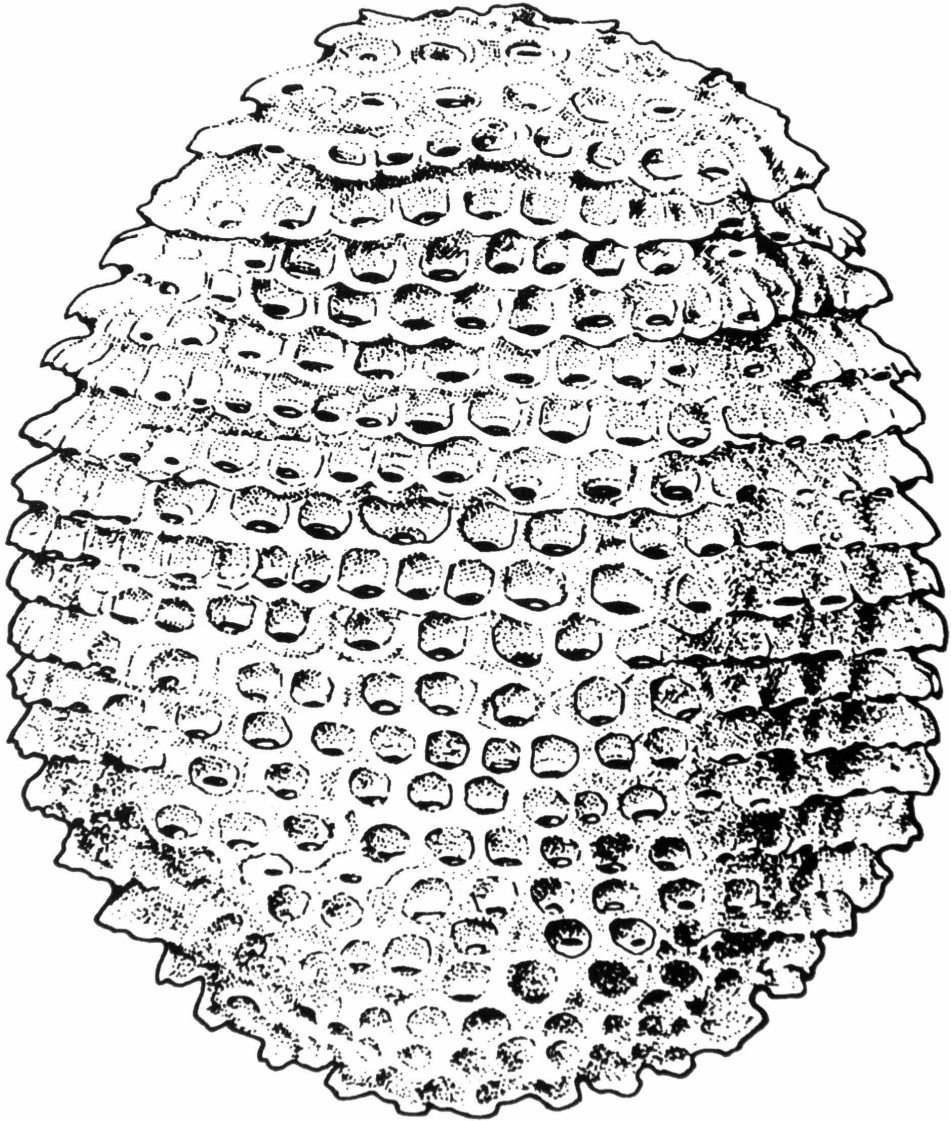
Un problema tipico della tecnica della modellazione è rendere il materiale adeguatamente viscoso. Un balestruccio (*Delichon urbicum*) mentre raccoglie un carico di fango per prima cosa accumula nel becco del materiale solido prelevato dal margine di uno stagno. Quando il becco è pieno, l'uccello raccoglie in prossimità dell'acqua del fango più morbido e lo mette sopra la punta del becco. Mentre l'uccello applica il fango sul bordo del nido, lo agita con un movimento vibratorio. La mota tocca prima il bordo del nido e forma una saldatura tra la costruzione già parzialmente asciutta e il nuovo materiale. Alcune vespe sono state osservate usare la vibrazione per accelerare il processo, rafforzare la saldatura e persino eliminare le bolle d'aria dal materiale modellato nel modo in cui vengono usati i vibratorii per migliorare una colata di cemento. Movimenti simili sono stati osservati anche nel gracchio (*Corcorax melanorhamphus*), per facilitare



131.
The common bush-tit (*Psaltriparus minimus*) molds its suspended nest built of spider silk and plant fragments into a deep bag using its body.
 Il codibugnolo americano (*Psaltriparus minimus*) modella il proprio nido sospeso, realizzato con seta di ragno e frammenti di piante, a forma di sacco profondo utilizzando il proprio corpo.



132.
A ceramic nest of the *Polybia singularis* wasp made of fine clay (after Frisch).
 Un nido di ceramica del vespe *Polybia singularis* fatto con argilla a grana fine (secondo Frisch).



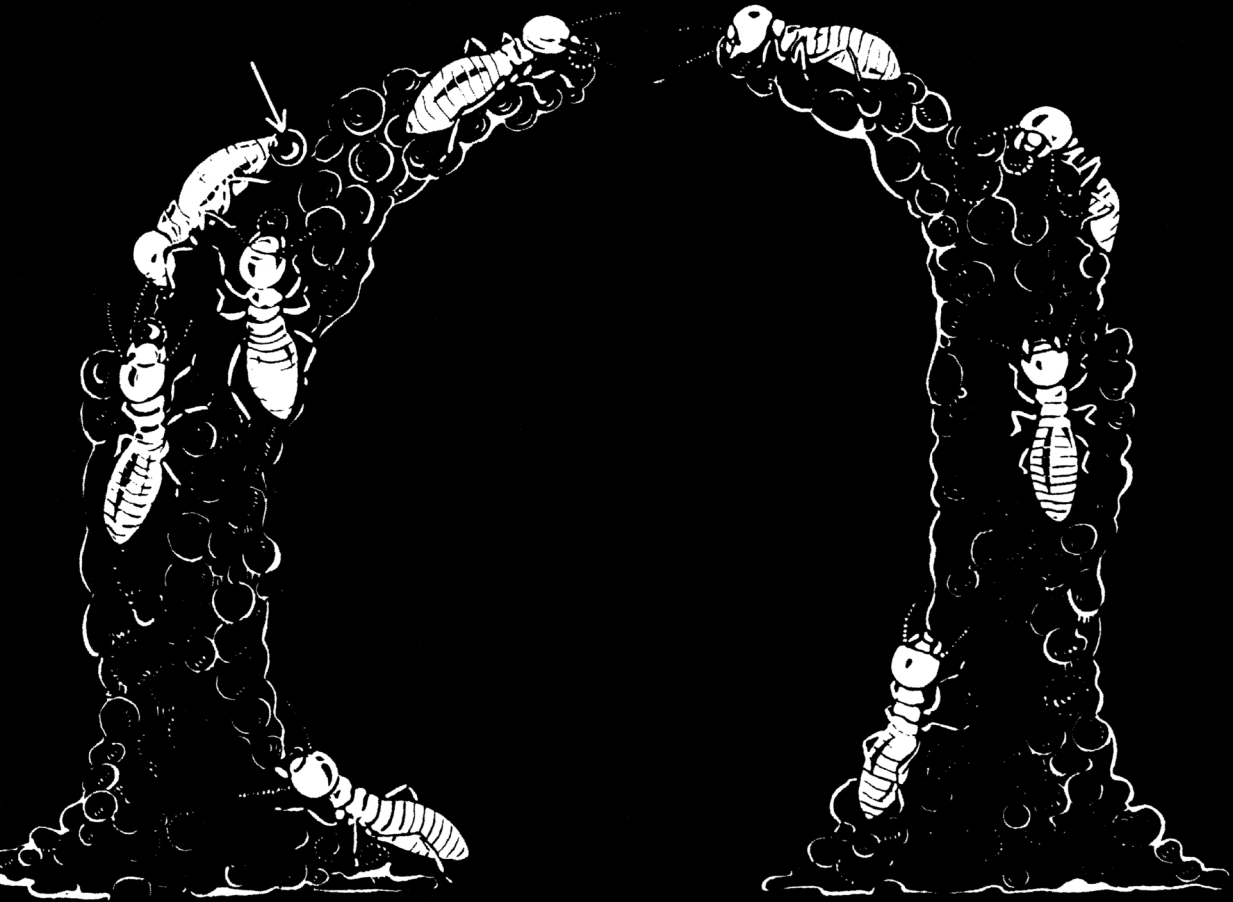
133.

A nest of *Apicotermes gurgulifex* termites made of the own excrement of its builders. The nest which is built inside an earth cavity, is surrounded by ventilation slits.

Termitaio della specie *Apicotermes gurgulifex* realizzato con gli escrementi dei costruttori stessi. Il nido, realizzato in una cavità sottoterra, è circondato da feritoie necessarie per la ventilazione.



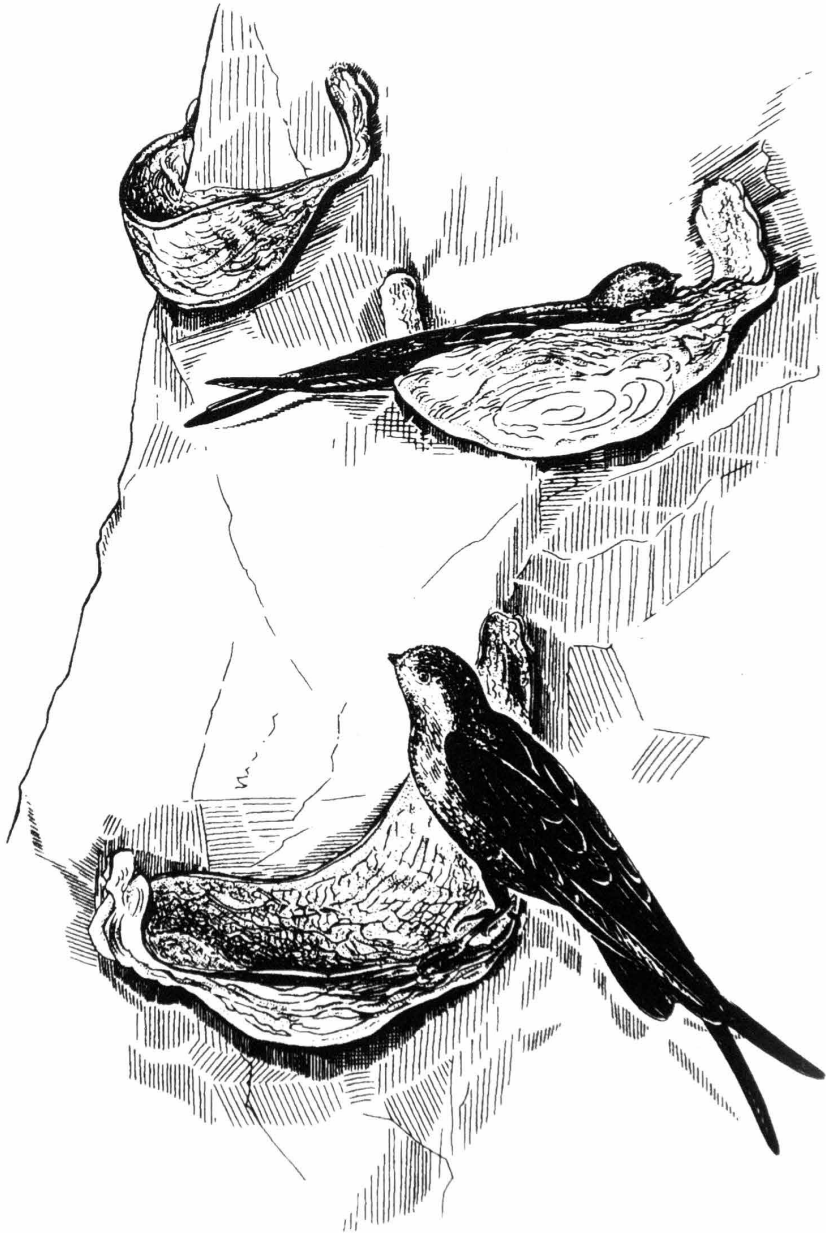
134.
The nest of the Rufous Hornero (*Furnarius rufus*) is modeled of clay mixed with vegetable debris, straw and cow dung.
Il nido del fornaio rossiccio (*Furnarius rufus*) è modellato con argilla mescolata a detriti vegetali, paglia e sterco di vacca.



135.

The *Macrotermes natalensis* termites constructing an arched vault. The material is earth particles mixed with droplets of excrement.

Le termiti *Macrotermes natalensis* mentre costruiscono una volta ad arco. Il materiale è costituito da particelle di terra mescolate a gocce di sterco.





136.
Saliva nests of swiftlets (*Collocalia*) attached to a cliff face.

Nidi di saliva delle salangane (genere *Collocalia*) attaccati a una parete rocciosa.

137.
Housemartins (*Delichon urbica*) at their nest molded of clay and straws.

Balestrucci (*Delichon urbica*) nel proprio nido modellato con argilla e pagliuzze.

- Attachment discs. The spider secretes slightly liquid material through special glands, *Glandulae pyriformes*, which hardens into fine thread; these threads provide strong attachment discs to fix the drag-line to the surface of solid materials, but it is also used in fixing intersecting threads together.
- Cocoon thread. Female spiders do not lay their eggs freely, but enclose them in an egg-sac. The *Glandulae tubuliformes* glands issue these threads, which are also used in construction; this thread is used, for instance, to construct retreats.
- Swathing line. Most spiders envelop their prey in a tightly woven silk cage. The glands that produce tie thread are called *Glandulae aciniformes*. The swathing bands are usually ingested with the prey, and the material is reused by the body.
- Capture thread. Capture threads trap anything that touches them. Two types of glands are used to produce cribellate and ecribellate threads. This is common among thread spinning spiders.

The cribellate hackled bands produced by cribellate spiders are adhesive threads. A dry woof of thin threads is fixed on two parallel warps originating from the ambullate glands of the anterior spinnerets. Each of these threads originates in a separate gland and spinning tube which are located on the spinning plate or cribellum. A mature female of the species *Stegodyphus pacificus* has nearly 50,000 of these spinning tubes.

The ecribellate capture threads are viscid threads which are constructed by members of only some families of ecribellate spiders. The ecribellate capture thread consists of two axial threads on which a slightly liquid viscid substance is added by neighbouring spinning tubes. This substance forms fine viscid drops.

The spider oils its legs and other body parts that are in contact with the net with a secretion from its salivary glands to avoid getting caught in its own net.

The construction of a vertically placed spider net begins with the horizontal support line, the bridge line, which is laid across a suitable gap either by the animal walking, or by floating a very light temporary line in the wind. When the loose end of the flying line is caught on the opposite side, the spider makes the bridge line by taking up the temporary line and replacing it with a permanent line. The next phase is to drop a vertical line down from the centre of the bridge line. The spider proceeds to construct the polygonal surrounding frame and the radial threads. After strengthening the hub, the spider spirals out from the center and lays down a spiralling scaffolding thread. Finally, she begins the completion of the net from the rim towards the centre, laying down the sticky capture thread and, simultaneously, gathering up the temporary scaffolding thread. The sticky substance is spread evenly on the surface of the capture thread. The spider takes hold of the thread, stretches it, and snaps it loose like the string of an instrument, and the

il fluire della mota tra le fibre vegetali nel materiale composito in una matrice di fango utilizzata dall'uccello; le fibre sono chiaramente utilizzate come armatura.

3.2 Estrudere e filare

Un materiale e una tecnica di modellazione unici sono impiegati dalle salangane, una specie di rondoni del genere *Collocalia*, che vivono in Asia meridionale e Indonesia, le quali costruiscono con della saliva indurente nidi commestibili. Quando si avvicina il tempo della riproduzione, le loro ghiandole salivari si gonfiano enormemente. I rondoni realizzano il nido come una coppa poco profonda a sbalzo da una parete rocciosa. La prima cosa che fanno con la lingua è spalmare la pietra di saliva, che è un liquido viscoso a rapida essiccazione, poi, tracciando un semicerchio per la superficie di sospensione, costruiscono il nido a forma di consolle. Le uova vengono deposte direttamente nella sua coppa, priva di rivestimento.

Nelle larve di lepidottero e tricottero, i fili di seta vengono estrusi da un paio di aperture esterne delle ghiandole che segregano la seta, collocate nelle labbra. Nella maggior parte delle specie i due fili si fondono in uno unico.

Le molteplici reti dei ragni con i loro diversi tipi di filo, attacchi, collegamenti, giunti e altre raffinatezze microscopiche appartengono alle più belle costruzioni del mondo animale.

Le reti di sospensione di varie specie di ragni sono state ampiamente analizzate al microscopio presso l'Istituto di Tensostrutture Leggere dell'Università di Stoccarda sotto la direzione di Frei Otto, e in costruzioni del genere gli studi hanno rivelato una sorprendente complessità strutturale e logica sviluppata dai ragni durante decine di milioni di anni di evoluzione. Man mano che le nostre strutture tensili si fanno sempre più raffinate paiono assomigliare ai dettagli delle costruzioni dei ragni.

I ragni hanno tre paia di filiere e, collegati a esse, sette tipi di ghiandole della seta, delle quali più di una è associata a ogni coppia di filiere. La seta utilizzata per i diversi scopi risulta dalla combinazione di filamenti secreti da una o più coppie di filiere.

Il ragno del giardino, per esempio, produce cinque differenti tipi di filo per diversi scopi strutturali:

- Filo di trascinamento. Mentre si sposta il ragno emette un filo prodotto da ghiandole dette *Glandulae ampullaceae*. Il filo di trascinamento funziona da corda di sicurezza per il ragno, ma può essere utilizzato anche per muoversi nell'aria fluttuando o creando ponti.
- Dischi di attacco. Attraverso ghiandole speciali, le *Glandulae pyriformes*, il ragno secreta del materiale leggermente liquido che si indurisce in un filo sottile; questi fili forniscono dischi di attacco resistenti per fissare le *drag-line* alla superficie di materiali solidi, ma è anche utilizzato per tenere assieme fili che si intersecano.

vibrating thread divides the fluid into equal drops and spaces them at equal distances in accordance with the standing wave.

The fine thread of the silk moth has been used by man for 4.600 years; several million kilograms of raw silk are produced annually nowadays for commercial purposes. In addition to being used as material for fine cloth, silk thread was earlier used to produce fishing rods and strings of musical instruments. Spider thread has been used as crosshairs for optical instruments due to its fineness.

4. Rolling and folding

The principle of this type of construction is to create a three-dimensional structure by rolling a plant leaf. The most sophisticated form of this process is carried out by leaf eaters such as the weevil *Byctiscus populi*.

Another rolling technique and geometry are shown in the weevil *Deporaus betulae*: the axis of the roll forms a tangent to the area of the regularly asymmetric cut. Plant juices that flow from the punctures made by the beetle in the leaf surface provide the glue by which the leaf is held in position until it dries. The beetle completes the work by cutting through the petiole, which makes the leaf fall to the ground.

Yet another rolling technique is used by the caterpillar *Striglina scitaria*. Starting at one edge, the larva rolls the leaf around itself with the help of silk threads that contract. The completed roll remains attached to the leaf.

5. Sticking together

This method of construction employs the combination of two materials: solid building blocks or elements, and an adhesive to fasten the units together. This is the process used by the human stone mason and bricklayer. The adhesive is most commonly a secretion by the builder itself; mucus or silk is most often used as the bonding substance.

The building blocks may be secreted by the animal itself, as in amoeboid protozoan *Euglypha rotunda*, whose very refined case is built of silica plates produced internally.

The tiny constructions of caddis-fly larvae and the extremely tight fit of their masonry work have already been mentioned. Caddis larvae *Silo pallipes*, in particular, are capable of masonry reminiscent of Inca stone-work or the finest human mosaic-work.

Another caddis larva, *Lepidostoma hirtum*, constructs a prefabricated panel house similar to human prefabricated panel constructions. The larva cuts the panel elements from a leaf tissue with a curving cut by its mandibles. Again, the regular structure is a result of a series of reflexes. The mason bee (*Chalicodoma muraria*) builds its beautiful enclosed stone vaults, usually in groups of 12, of sand

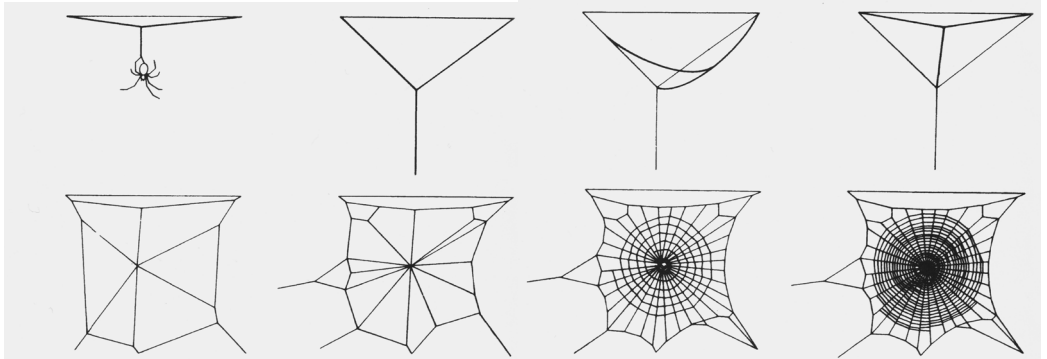
- Filo di bozzolo. Le femmine dei ragni non spargono le loro uova, ma le racchiudono nel bozzolo del sacco ovigero. Le *Glandulae tubuliformes* secernono questi fili, che vengono anche usati nella costruzione, per realizzare rifugi, ad esempio.
- Filo di avvolgimento. La maggior parte dei ragni avvolge la preda in una gabbia di seta strettamente intessuta. Le ghiandole che producono il filo di legatura sono chiamate *Glandulae aciniformes*. Le fasce di legatura di solito sono ingerite insieme alla preda e il materiale viene riutilizzato dall'organismo.
- Filo di cattura. I fili di cattura intrappolano tutto ciò che entra in contatto con loro. Per produrre fili cribellati e non, sono impiegate due tipi di ghiandole; cosa comune tra i ragni filatori. Le fasce di seta pettinate prodotte dai ragni cribellati sono fili adesivi. Una trama di fili sottili priva di liquidi viene fissata a due orditi paralleli che provengono dalle *Glandulae ampullaceae* delle filiere anteriori. Ognuno dei fili ha origine in una ghiandola e in un tubo di filatura separati che si trovano sulla piastra di filatura o cribello. Una femmina matura della specie *Stegodyphus pacificus* ha quasi cinquantamila di questi tubi di filatura.

I fili di cattura ecribellati sono appiccicosi e vengono prodotti esclusivamente dai membri di alcune famiglie di ragni ecribellati. Il filo di cattura ecribellato consiste di due fili assiali su cui una sostanza viscosa leggermente liquida viene aggiunta dai tubi di filatura vicini. Tale sostanza forma sottili gocce viscide. Il ragno si unge le zampe e altre parti del corpo che sono in contatto con la rete con una secrezione delle ghiandole salivari per evitare di rimanere impigliato nella sua stessa rete. La costruzione di una rete di ragno disposta verticalmente inizia con la linea di supporto orizzontale, la linea ponte, che viene posata, attraverso un adeguato spazio, o dall'animale mentre si muove, o facendo volteggiare al vento una linea provvisoria molto leggera. Quando l'estremità libera della linea svolazzante viene attaccata al lato opposto, il ragno realizza la linea ponte sostituendo quella provvisoria con una permanente. La fase successiva consiste nel far cadere una linea verticale dal centro della linea ponte; poi il ragno inizia a costruire il telaio poligonale circostante e i fili radiali. Dopo aver rafforzato il cuore nevralgico, il ragno procede a spirale dal centro e stende un filo di impalcatura spiroidale. Infine, comincia il completamento della rete dal bordo verso il centro, stendendo il filo di cattura appiccicoso e, contemporaneamente, raccogliendo il filo dell'impalcatura temporaneo. La sostanza vischiosa viene spalmata uniformemente sulla superficie del filo di cattura. Il ragno si impadronisce del filo, lo tende e lo fa scattare come la corda di uno strumento, e nel vibrare il filo suddivide il liquido in gocce uguali e le dispone alla medesima distanza in funzione dell'onda stazionaria.

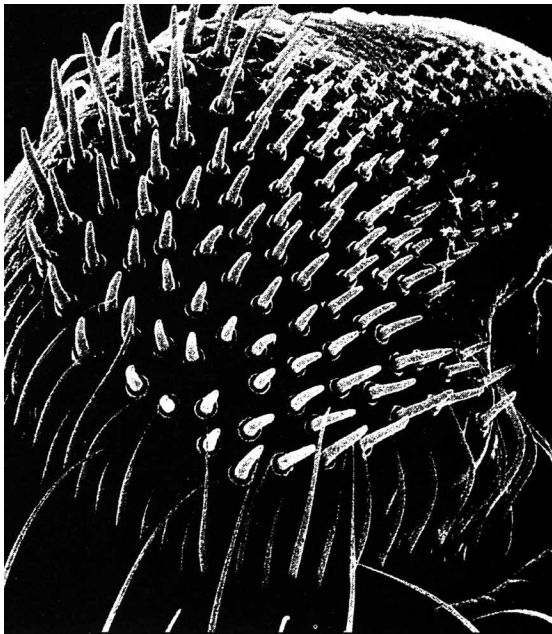
Il filo sottile della falena del baco da seta è stato utilizzato dall'uomo per quattromilaseicento anni; diversi milioni di chilogrammi di seta grezza vengono prodotti annualmente per scopi



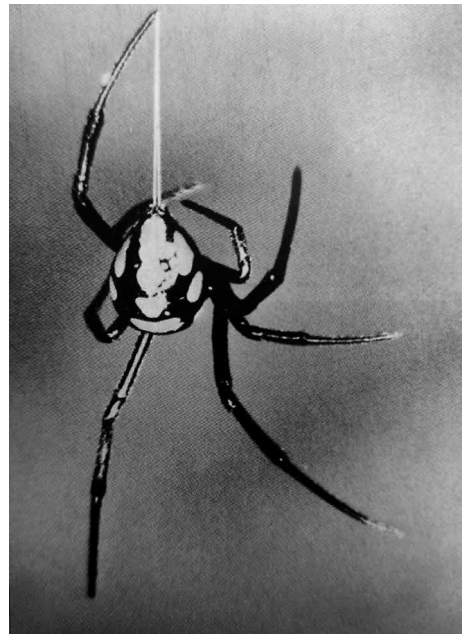
138.
A garden spider (*Araneus diadematus*) female in her web.
Una femmina di ragno crociato (*Araneus diadematus*) nella sua tela.



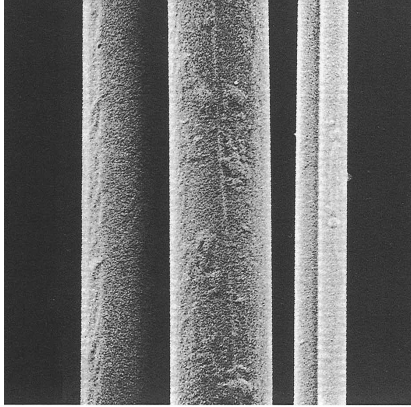
139.
The sequence of construction of a typical orb web.
 La sequenza di costruzione di una tipica ragnatela orbitale.



140.
Scanning electron micrograph of the anterior spinneret of a young *Cyrtophora citricola* spider.
 Micrografia elettronica a scansione della filiera anteriore del giovane ragno *Cyrtophora citricola*.

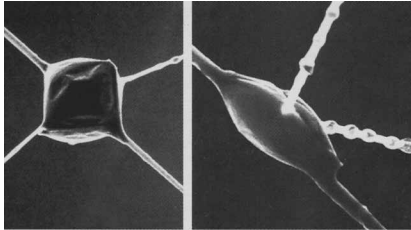


141.
A young black widow spider (*Latrodectus mactans*) roping itself down. The immature spider's drag-line consists of two lines spun by the first pair of spinnerets, while the line of an adult is a four-fold fine.
 Un giovane ragno vedova nera (*Latrodectus mactans*) che si lascia cadere verso il basso. Il filo di trascinamento del ragno giovane consiste di due filamenti prodotti dal primo paio di filiere, mentre il filo di un adulto è composto da quattro filamenti.



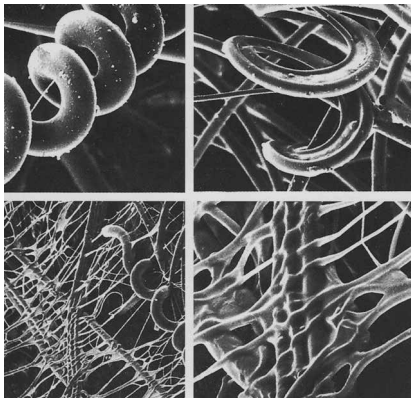
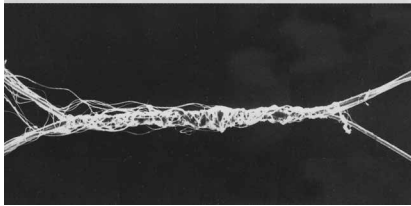
142.
Scanning electron micrograph of a fourfold safety-line of *Cyrtophora citricola*. The diameter of the thicker lines is 0.0038 and the thinner 0.0011 millimetres.

Micrografia elettronica a scansione di una corda di sicurezza quadrupla di *Cyrtophora citricola*. Il diametro delle corde più spesse è di 0,0038, mentre quello delle più sottili è di 0,0011 millimetri.



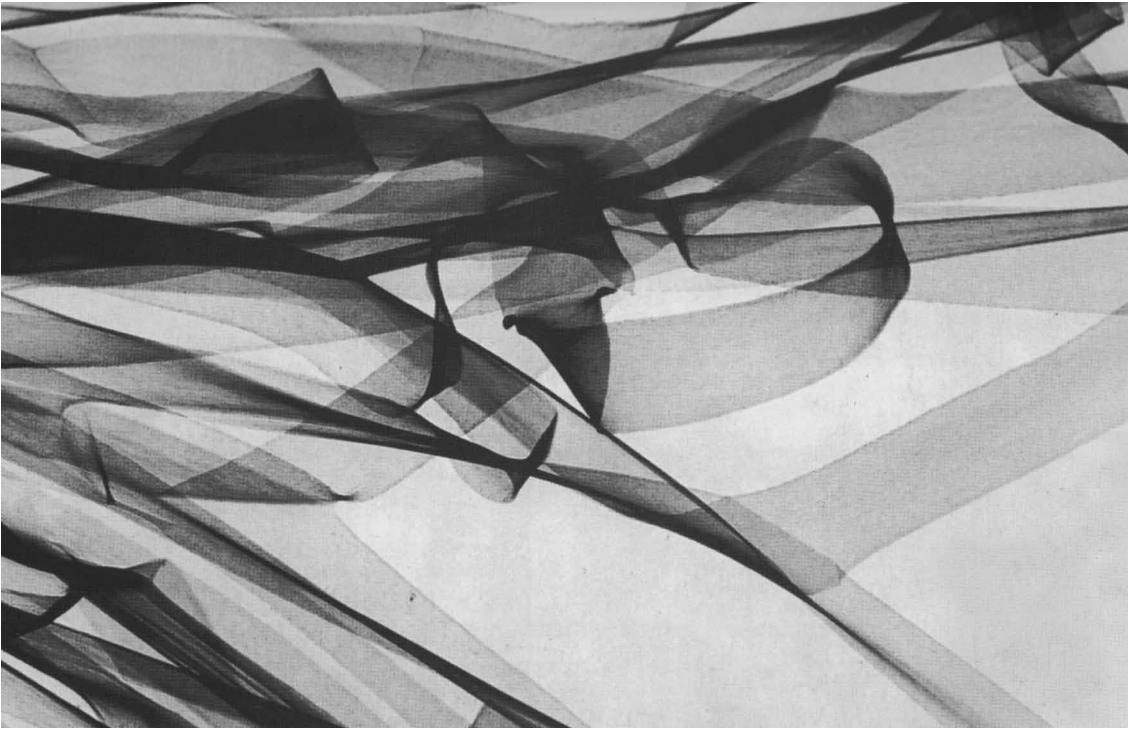
143.
Scanning electron micrographs of details of spider thread connections.

Micrografie elettroniche a scansione di dettagli delle connessioni dei fili di ragno.



144.
Scanning electron micrograph of the cocoon wall of the *Argiope nigrovittata* spider.

Micrografia elettronica a scansione della parete del bozzolo del ragno *Argiope nigrovittata*.



145.

Scanning electron micrograph of the bandshaped capture threads of the *Loxosceles rufescens* spider.

Micrografia elettronica a scansione dei fili di cattura nastriformi del ragno *Loxosceles rufescens*.

or weathered rock dust moistened with saliva. The male three-spiked stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) shapes its nest by sticking pieces of vegetation together with a secretion from its kidneys.

6. Weaving

In a woven object, the fabric is held together without the use of an adhesive. The main difference between human and animal weaving is that we use long threads as our weft and warp, but none of the animal weavers is able to spin their thread. The animals that do spin threads use other methods of construction. The development from a supported nest to a hanging woven nest has enabled birds to occupy more secure nest sites.

Weaving requires two qualities of the craftsman: an anatomically specialised tool, such as a bird's bill, and the behavioural tool of being able to follow the course of the thread. The most highly developed weaving skill has resulted from the evolution of a tendency to reverse the direction of a turn or loop, to wind and strip about an object, and to keep one strip moving constantly in one direction. The various stitches and fastenings by weaverbirds illustrate this capacity. The instinctive nest building behaviour takes place in relation to the body of the animal itself, on the one hand, and to the already constructed part of the nest, on the other. The shape and size of the egg chamber of a weaverbird's nest is defined by the measurements of the bird swinging around the initial vertical ring and extending its beak as far as it can.

In addition to birds, weaver shrimps (*Alpheidae*) have developed a weaving technique: the shrimps weave loose algal mats into a tighter fabric.

7. Sewing

There is no clear difference between the weaving and sewing processes. In the sewing process, clear stitches are made, passing through another material, instead of a meshing of threads into a weave. Only certain species of birds are able to construct by sewing. The plant-leaf nest of the common tailorbird (*Orthotomus sutorius*), which lives in southern Asia, is stitched together with thread made of spider silk, bark or cotton fibres; the loose ends of the stitches are twisted into small lumps to secure the connection. The nest of the long-billed spiderhunter (*Arachnothera robusta*) is suspended on the underside of a banana leaf by strands of vegetation that are sewed to the leaf by stitches of plant fibre and spider silk.

Structural considerations

Hansell has also studied animal artefacts from a structural engineering point of view. Animals build structures both in compression and in tension, and they skillfully take account of the forces

commerciali. Oltre a essere impiegato come materiale per tessuti sottili, in passato è servito per produrre lenze da pesca e corde di strumenti musicali. Il filo di ragno è stato utilizzato come reticolo per strumenti ottici grazie alla sua sottigliezza.

4. Arrotolare e piegare

Il principio di una tecnica costruttiva del genere consiste nel creare una struttura tridimensionale arrotolando la foglia di una pianta. La forma più sofisticata di questo processo si deve ai tonchi fogliatori come il sigaraio del pioppo *Byctiscus populi*.

Un'altra tecnica e un'altra geometria di arrotolamento messe in atto mostrate dal tonchio *Deporaus betulae*: l'asse del rotolo forma una tangente con la zona del taglio regolarmente asimmetrico. I succhi vegetali che fluiscono dalle perforazioni praticate dal coleottero sulla superficie della foglia forniscono la colla con cui la stessa foglia viene tenuta in posizione fino a quando non si asciuga. Il coleottero completa il lavoro tagliando il picciolo per far cadere la foglia a terra. Il bruco *Striglina scitaria* ricorre a un'altra tecnica di arrotolamento. Partendo da un bordo, la larva avvolge la foglia su se stessa con l'aiuto di fili di seta che si contraggono. Il rotolo, una volta completato, rimane attaccato alla foglia.

5. Incollare

Questo metodo di edificazione impiega la combinazione di due materiali: blocchi o elementi da costruzione solidi e un adesivo per fissare insieme le parti, ossia lo stesso procedimento utilizzato da uno scalpellino e da un muratore. L'adesivo è normalmente una secrezione del costruttore stesso; il muco o la seta vengono molto spesso utilizzati come leganti.

I mattoni possono essere secreti dall'animale stesso, come nel caso del protozoo ameboide *Euglypha rotunda*, la cui raffinatissima teca è realizzata con piastre di silice prodotte internamente. Le minuscole costruzioni delle larve di tricottero e l'estrema compattezza della loro opera muraria sono già state menzionate. Le larve di tricottero *Silo pallipes*, in particolare, sono capaci di opere in muratura che ricordano quelle inca o il più raffinato mosaico realizzato dall'uomo.

Un'altra larva di tricottero, *Lepidostoma hirtum*, assembla una tana con pannelli prefabbricati simili alle costruzioni di questo tipo realizzate dall'uomo. Con le sue mandibole ritaglia gli elementi del pannello da un tessuto fogliare praticando una recisione curva. Ancora una volta la struttura regolare è il risultato di una serie di azioni riflesse. L'ape muraiola (*Chalicodoma muraria*) edifica le sue belle volte di pietra chiuse, di solito in gruppi di dodici, con sabbia o polvere di roccia erose e inumidite con la saliva. Il maschio di spinarello (*Gasterosteus aculeatus*) dà forma al nido incollando pezzi di vegetazione con una secrezione renale.

that occur in their structures. The nest of the edible swiftlet *Collocalia fuciphaga* has acquired a nearly optimum shape for a structure cantilevered from a rock face.

Beavers are extremely skilled soil and water engineers, structuring their dams to withstand the pressure of water or make the dam watertight. But even caddis larvae organise their minute pieces of material in accordance with the expected forces.

Spiders provide their nets with many microscopic engineering inventions to prepare the structure for the impact force of their prey or other intruders; webs of araneid spiders have several structural devices designed to absorb the impact energy without breaking the entire structure.

The hexagonal cells of bees and wasps create an extraordinarily strong space-frame, in particular in the vertical bee comb with two cell layers back to back with half a cell's shift in the position to create a three-dimensional pyramidal structure. The extraordinary strength is exemplified by a comb 37 centimetres by 22.5 centimetres in size, which is made of 40 grams of wax but can contain about 1.8 kilograms of honey.

Birds are even able to take account of wind forces in their constructions. Nests of some bird species are counterbalanced against wind by the weight of soil or small stones placed in the nest. A Venezuelan hummingbird, *Phaethornis augusti*, suspends its tiny nest cup by a single strand of spider's silk attached to one point at the rim of the nest. The nest is counterbalanced with lumps of clay or pebbles woven into a strand of silk suspended from the bottom of the nest.

Animal landscape architecture

The ecological adaptiveness of animal structures was emphasised earlier, but the building activities of animals are not insignificant or invisible. Certain animals have created landscapes on a scale that exceeds human efforts.

Ants, for instance, alter their physical environment profoundly through moving earth and transporting plant and animal remains into their nests, mixing these materials with excavated earth, thus charging their nest area with high levels of carbon, nitrogen and phosphors. In Finland, ants have been observed to facilitate the spread of forest on rockcovered areas.

The scale on which animals may change landscapes is stunning. In an article of his, Hansell reports that in northern Australia there are areas with hundreds of earth mounds up to ten metres high, the origin of which is under dispute; are they mounds piled up by Australian aborigines or by scrub fowls (*Megapodius reinwardt*)?

In the South African Cape Province, large areas of land are covered by fairly circular mounds some 30 metres wide and two metres high; the mounds seem to be the result of co-operation between termites (*Microhogotermes viator*) and molerats (*Bathyergidae*).

6. Tessere

In un oggetto a maglia, il tessuto è tenuto assieme senza ricorrere ad alcun adesivo. La differenza principale fra la tessitura umana e quella animale è che noi utilizziamo fili lunghi come trama e ordito, mentre nessuno degli animali tessitori è in grado di filare il proprio filo, di conseguenza ricorrono ad altri metodi di costruzione.

L'evoluzione dal nido sostenuto a quello pendente e intessuto ha permesso agli uccelli di occupare siti di nidificazione più sicuri.

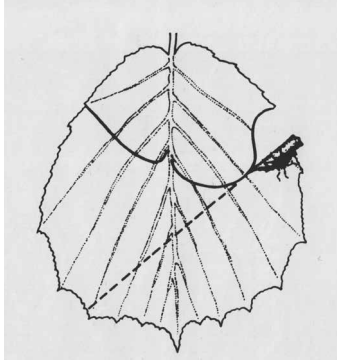
La tessitura richiede due strumenti dell'artigiano: uno strumento anatomicamente specializzato, come il becco di un uccello, e lo strumento comportamentale capace di seguire la direzione del filo. L'abilità nel tessere più sviluppata è l'esito dell'evoluzione di una tendenza a invertire la direzione di un giro o di un cappio, per avvolgere e fasciare un oggetto, e a mantenere una striscia in costante movimento lungo una direzione. Le diverse cuciture e allacciature degli uccelli tessitori illustrano un'abilità del genere. Il comportamento istintuale nella costruzione del nido è da un lato in relazione col corpo dell'animale e dall'altro con la parte già realizzata del nido. La forma e la dimensione della camera ovifera del nido di un uccello tessitore è definita dalle misure dell'uccello che oscilla intorno all'anello verticale di partenza e che allunga il becco il più lontano possibile. Oltre agli uccelli, anche i gamberi pistolieri (*Alpheidae*) hanno sviluppato una tecnica di tessitura: i gamberi intrecciano stuoie algali lasche in una stoffa più compatta.

7. Cucire

Non c'è una differenza netta tra il processo di tessitura e quello di cucitura. Quando si cuce si fanno dei punti precisi, trafiggendo un altro materiale, invece di realizzare una trama con un intreccio di fili. Solo alcune specie di uccelli sono in grado di costruire cucendo. Il nido di foglie dell'uccello sarto codalunga (*Orthotomus sutorius*), che vive in Asia meridionale, viene cucito insieme con fili di seta di ragno, corteccia o fibre di cotone; le estremità libere dei fili delle cuciture vengono attorcigliate in piccoli nodi per assicurare il fissaggio. Il nido del cacciatore di ragni del genere *Arachnothera robusta* è appeso al lato inferiore di una foglia di banano con dei filamenti di vegetazione cuciti a essa con dei punti realizzati con fibre di piante e di seta di ragno.

Considerazioni strutturali

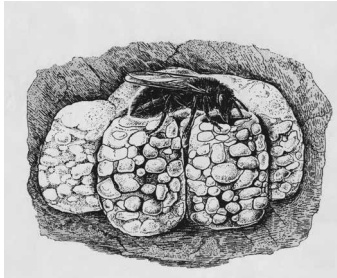
Hansell ha studiato le costruzioni animali anche dal punto di vista dell'ingegneria strutturale. Gli animali realizzano strutture che lavorano sia a compressione che a trazione, e tengono abilmente conto delle forze agenti su di esse. Il nido commestibile della salangana (*Collocalia fuciphaga*) ha acquisito una forma quasi ottimale per una struttura a sbalzo da una parete di roccia.



146.

The beetle *Deporaus betulae* beginning to roll a leaf. The solid line indicates the direction of the cut, and the dotted line the axis of the roll.

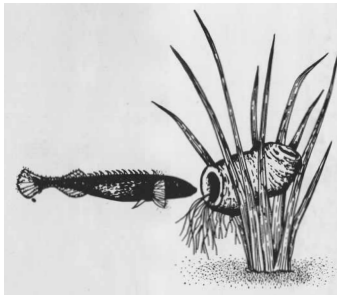
Il coleottero *Deporaus betulae* mentre inizia ad arrotolare una foglia. La linea continua indica la direzione del taglio, la linea tratteggiata l'asse del rotolo.



147.

The mason bee (*Chalicodoma muraria*) builds a group of usually 12 pots of sand grains using rock dust moistened with saliva as the mortar. Each pot contains an egg and honey as food for the larva.

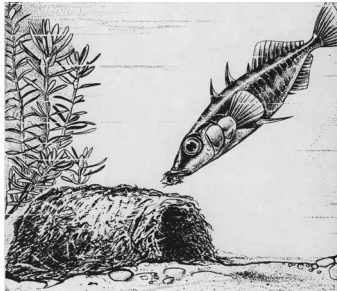
L'ape muratrice (*Chalicodoma muraria*) normalmente costruisce un gruppo di dodici celle composte da granelli di sabbia utilizzando come malta la polvere di roccia inumidita con la saliva. Ogni cella contiene un uovo e del miele, che sono cibo per la larva.



148.

The nest of the stickleback (*Pungitius pungitius*) which the male fans in front of the entrance.

Il nido dello spinarello nordico (*Pungitius pungitius*), il cui ingresso viene ventilato dal maschio.



149.

The male three-spiked stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) shapes its nest by sticking together pieces of vegetation with its kidney secretion.

Il maschio dello spinarello comune (*Gasterosteus aculeatus*) costruisce il nido incollando pezzi di vegetazione con una secrezione renale da lui prodotta.

I castori sono ingegneri geotecnici e idraulici estremamente abili nel calcolare le loro dighe per farle resistere alla pressione dell'acqua o per impermeabilizzarle. Ma anche le larve di tricottero organizzano i loro minuscoli pezzi di materiale in base alle forze agenti previste.

I ragni dotano le loro reti di numerose microscopiche invenzioni ingegneristiche per preparare la struttura alla forza d'urto delle prede o di altri intrusi; le ragnatele dei ragni araneidi hanno diversi dispositivi progettati per assorbire l'energia degli impatti così da evitare di rompere l'intera intelaiatura.

Le cellule esagonali delle api e delle vespe creano un telaio spaziale incredibilmente resistente, in particolare nel favo verticale delle api con due strati di celle disposti schiena contro schiena con uno spostamento di mezza cella in una posizione tale da creare una struttura piramidale tridimensionale. La straordinaria resistenza è esemplificata da un favo della dimensione di trentasette per ventidue centimetri e mezzo, che, pur essendo realizzato con soli quaranta grammi di cera, può contenere circa un chilo e ottocento grammi di miele.

Gli uccelli sono perfino in grado di tenere conto della forza del vento nelle loro costruzioni. I nidi di alcune specie di uccelli controbilanciano la spinta del vento con il peso della terra o di piccole pietre riposte nel nido. Un colibrì venezuelano, *Phaethornis augusti*, appende il minuscolo nido a coppa con un unico filo di seta di ragno ancorato a un punto preciso del suo bordo. Il nido è controbilanciato da grumi di argilla o sassolini intrecciati in un trefolo di seta che pende dal fondo.

Architettura del paesaggio animale

L'adattabilità ecologica delle strutture animali è stata sottolineata in precedenza, ma le attività di costruzione degli animali non sono insignificanti o invisibili. Alcuni animali hanno creato paesaggi a una scala capace di superare quella delle opere realizzate dall'uomo.

Le formiche, per esempio, alterano profondamente il loro ambiente fisico spostando la terra e trasportando resti vegetali e animali nei loro formicai, e mescolando quei materiali con la terra scavata, saturando in tal modo l'area del loro nido con alti livelli di carbonio, azoto e fosforo. In Finlandia è stato osservato che le formiche facilitano la diffusione delle foreste su aree rocciose.

La scala rispetto alla quale gli animali possono cambiare i paesaggi è stupefacente. In un suo articolo, Hansell riferisce che nell'Australia settentrionale ci sono aree con centinaia di tumuli di terra alti fino a dieci metri la cui origine è controversa: sono stati eretti dagli aborigeni australiani o dal galliforme di boscaglia *Megapodius reinwardt*?

In Sudafrica, nella Provincia del Capo, vasti territori sono coperti da cumuli a base praticamente circolare larghi circa trenta metri e alti due: essi possono essere il risultato della cooperazione tra termiti (*Microhogotermes viator*) e batierygidi (*Bathyergidae*).



150.
Casing of the caddis-fly larva (*Phryganea*).
Involucro della larva del tricottero frigatea (*Phryganea*).



151.

Fine mosaic work in the tube of the marine bristle-worm *Lagis koreni*.
Raffinato lavoro a mosaico dell'astuccio del polichete marino *Lagis koreni*.

The termite *Odontotermes* in South Africa is likely to be the builder of regular wavelike land forms formed by ridges 2 metres in height and up to 11 kilometres long situated at 50-metres intervals. In Britain, rabbits and sheep have preserved the unique plant communities of the open downs. In the scientists' view, the grassland expanses of the world could be artefacts manufactured by men and animals in collaboration.

The impact of construction activities and water regulation by beavers on the landscape is familiar to all. Beavers convert forest into riverside grassland. But if no other life form makes use of the newly made biotope, it will gradually turn into forest again.

Beavers used to be considered harmful to forestry in the United States, but today they are parachuted into forests from aeroplanes because their dams help prevent soil erosion in upland areas, and the lakes and marshy areas made by beavers provide habitats for many semiaquatic species, thus adding to the diversity of the ecosystem. The Finnish Forestry Management simply tolerates beavers and the consequences of their building activities.

Economic and ecological considerations

Animal constructions follow strict budgets and satisfy rigorous criteria of costeffectiveness.

The cost of animal architecture is not measured in terms of money, but of the energy and time used in the construction process. The animal architect has to consider the availability and appropriateness of materials, factors affecting manufacturing costs, such as transportation, as well as the functional effectiveness of the product itself. In animal construction, the cost will also be lower if the process is kept simple.

As Hansell points out, animals also look for a satisfactory return of investment. He gives the mucus feeding net of the worm *Chaetopterus* as an example of a cost-effective solution: the net is secreted at a rate of 1 millimeter per second and it catches food efficiently, and since all the mucus is swallowed and digested by the builder itself with the food, the structure is also inexpensive.

Animals tend to schedule their construction at times when cost is lowest. The red oven bird (*Furnarius rufus*), for example, builds a laborious nest of mud with a high cost. The building activity is, however, spread over the winter months, and takes place in bouts that coincide with mild weather and rainfall when soft mud is easily available.

Prolonged use and reuse are also important economic consideration. Termite nests may be used for centuries, and large stick nests of birds, as well as the nests of cliff swallows, are often reused over many seasons. Recycling of nest materials is also common among bees, wasps and ants. The dwarf honeybees (*Apis florea*), for instance, gnaw off the wax of their abandoned house and carry it in their leg baskets to make a new one of the same material, and save energy

Probabilmente è la termite *Odontotermes* in Sudafrica l'artefice delle forme regolari di terra ondulata costituite da creste alte due metri e lunghe fino a undici chilometri situate a intervalli di cinquanta metri.

In Gran Bretagna le comunità vegetali tipiche delle colline brulle si sarebbero conservate grazie a conigli e pecore. Secondo gli scienziati, le distese erbose del mondo potrebbero essere manufatti fabbricati dagli uomini in collaborazione con gli animali.

L'impatto sul paesaggio delle attività di costruzione e di regimazione delle acque da parte dei castori è noto a tutti. Quei roditori convertono la foresta in pascoli fluviali, tuttavia, se nessun'altra forma di vita utilizza il nuovo biotopo, esso ridiventerà gradualmente una foresta.

I castori erano considerati dannosi per la silvicoltura negli Stati Uniti, ma oggi vengono paracadutati dagli aerei nelle foreste perché le loro dighe aiutano a prevenire l'erosione del suolo nelle aree montane, inoltre i laghi e le aree paludose create dal roditore forniscono l'habitat per molte specie semiacquatiche, contribuendo così alla diversità dell'ecosistema. Il Finnish Forestry Management, semplicemente, li tollera insieme alle conseguenze delle loro attività di costruzione.

Considerazioni economiche ed ecologiche

Le costruzioni animali si attengono a budget rigorosi e soddisfano severi criteri di economicità.

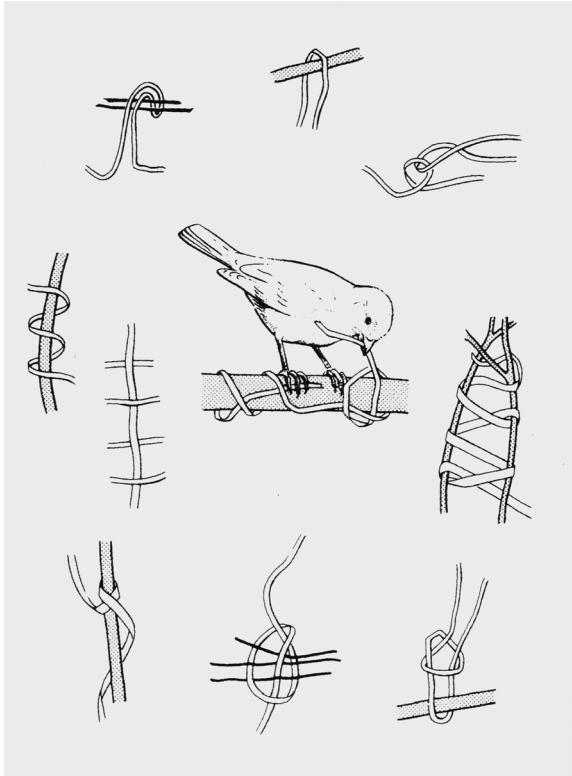
Il costo dell'architettura animale non si misura in termini di denaro, ma di energia e di tempo impiegati nel processo di costruzione. L'architetto animale deve considerare la disponibilità e l'adeguatezza dei materiali, i fattori che influenzano i costi di produzione, per esempio il trasporto, così come l'efficacia funzionale del prodotto stesso. Nelle costruzioni degli animali l'onere risulterà anche più contenuto se il processo si mantiene semplice.

Come sottolinea Hansell, gli animali perseguono anche un ritorno soddisfacente dell'investimento. Lo studioso propone come esempio di soluzione economica quello della rete di muco del verme *Chaetopterus*, la quale viene secreta alla velocità di un millimetro al secondo e cattura il suo alimento in modo efficiente e, poiché tutto il muco viene inghiottito e digerito dal costruttore stesso insieme al cibo, la struttura è pure poco dispendiosa.

Gli animali tendono a programmare le loro costruzioni quando i costi sono minori. Il fornaiio rossiccio (*Furnarius rufus*), per esempio, edifica un laborioso nido di argilla a un prezzo alto. L'attività di costruzione è, comunque, distribuita nei mesi invernali, e si svolge nei periodi che coincidono con un tempo mite e con le piogge, quando l'argilla morbida è facilmente reperibile. Anche l'utilizzo prolungato nel tempo e il riuso sono importanti considerazioni economiche. I termitai possono essere abitati per secoli, e i grandi nidi di uccelli, così come quelli della rondine rupestre americana, sono spesso riutilizzati per molte stagioni. Il riciclaggio dei materiali dei nidi



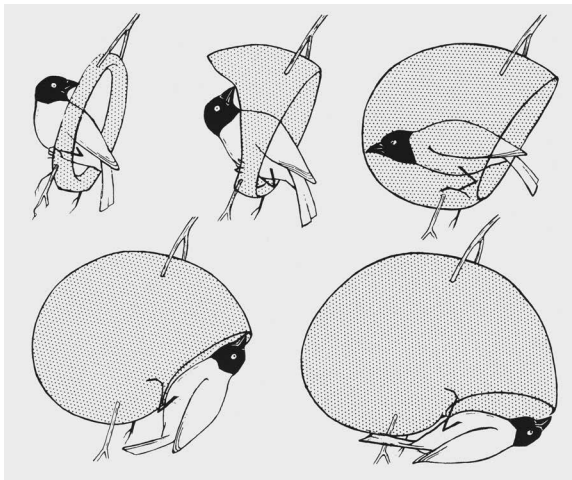
152.
Social weaverbird community.
Comunità del passero repubblicano.



153.

Examples of knots and loops of a weaverbird.

Esempi di nodi e cappi di un uccello tessitore.



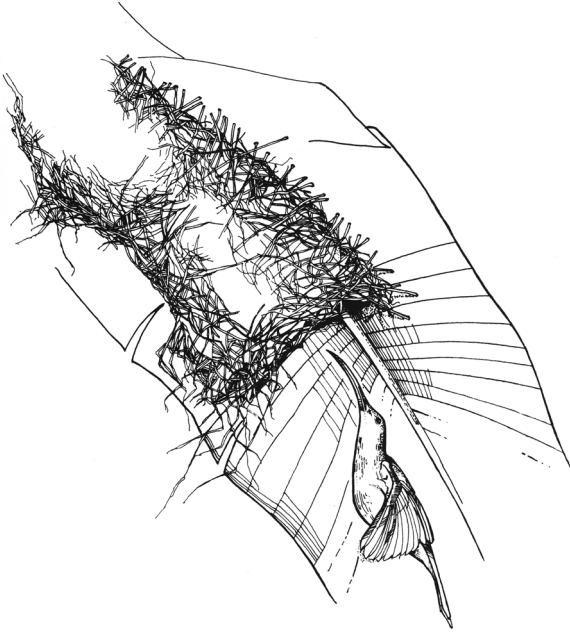
154.

Sequence of nest building in the village weaverbird (*Ploceus cucullatus*). The bird first constructs a ring, and the dimensions and shape of the rest of the construction are determined by the extent of the bird swaying on the ring.

Sequenza di costruzione del nido del tessitore gendarme (*Ploceus cucullatus*). L'uccello costruisce prima un anello, poi le dimensioni e la forma del resto della costruzione sono determinate dall'ampiezza del dondolio dell'uccello sull'anello.



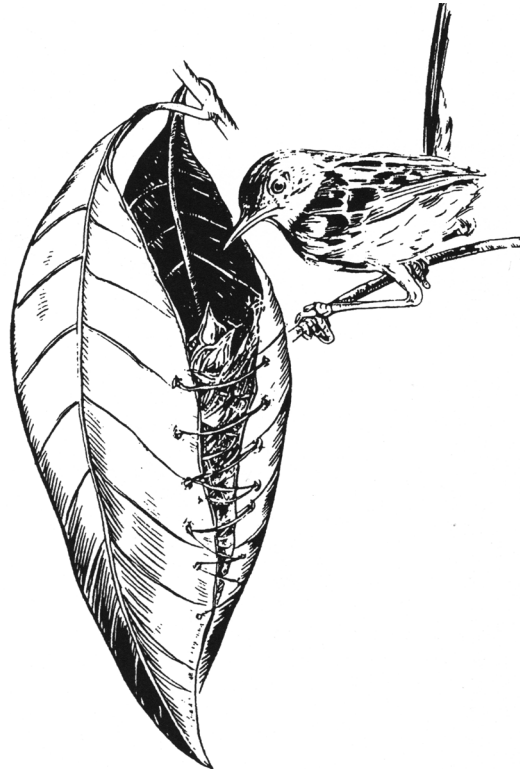
155.
The village weaverbird (*Ploceus cucullatus*) begins the construction of his nest by weaving the supporting ring.
Il tessitore gendarme (*Ploceus cucullatus*) inizia la costruzione del nido tessendo l'anello di sostegno.



156.

The nest of the long-billed spiderhunter (*Arachnothera robusta*) is suspended under a banana leaf by numerous strands of vegetation fixed with stitches of plant fibres and spider silk.

Il nido del cacciatore di ragni dal becco lungo (*Arachnothera robusta*) è sospeso sotto una foglia di banana grazie a numerosi fili di vegetazione fissati a essa con dei punti di fibre di piante e seta di ragno.



157.

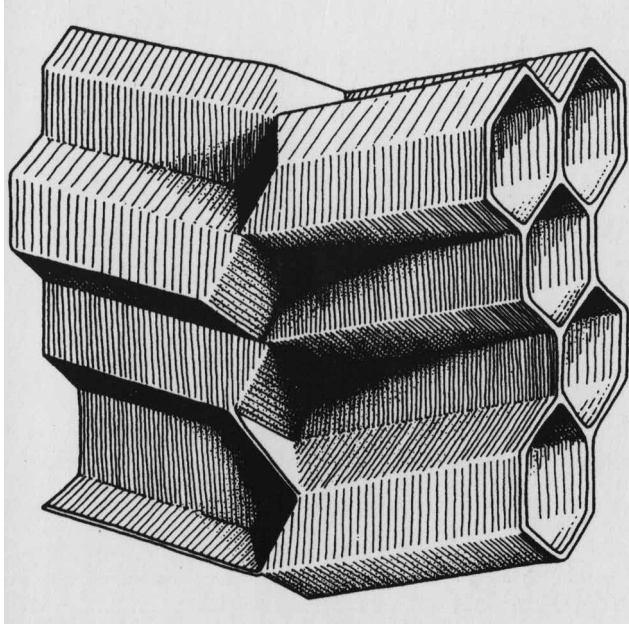
Nest of the common tailorbird (*Orthotomus sutorius*) is formed by fastening together two adjoining leaves with stitches of plant fibres and spider silk.

Il nido dell'uccello sarto (*Orthotomus sutorius*) viene realizzato fissando assieme due foglie adiacenti con punti di fibre vegetali e seta di ragno.



158.
Building a new
comb the bees hang
from each other in a
chain.

Per costruire un
nuovo favo le api
si appendono l'una
all'altra in modo da
formare una catena.



159.

The hexagonal cells of bees and wasps create an extraordinarily strong space frame.

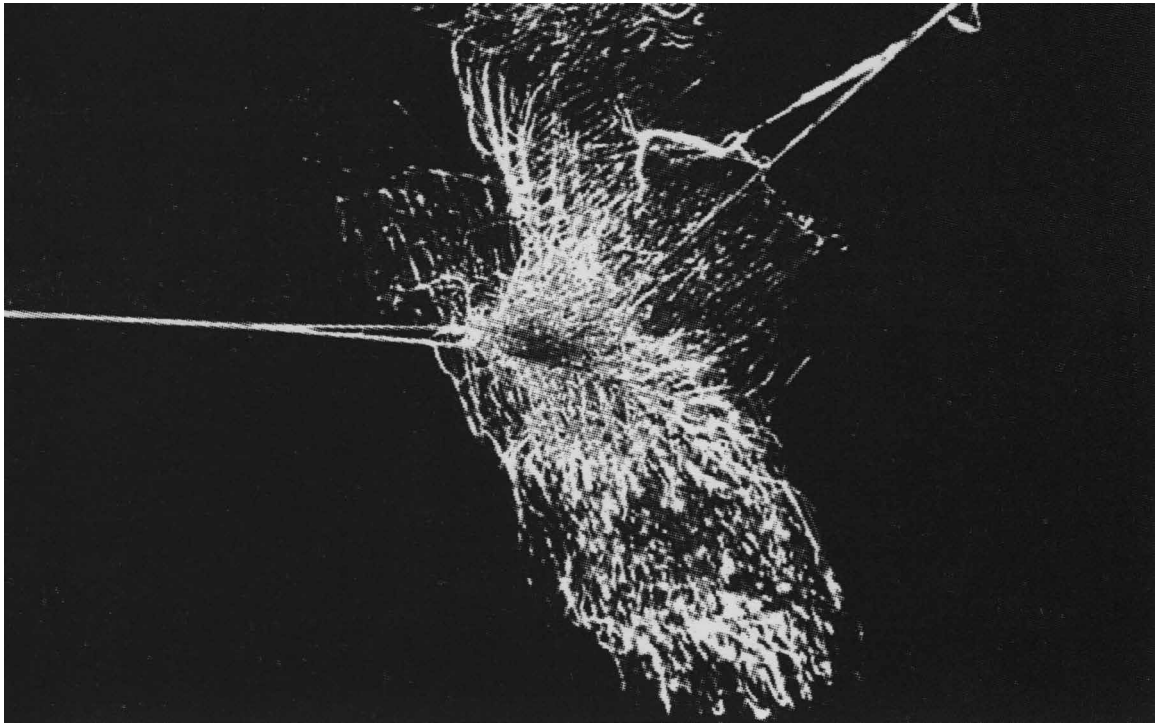
Le celle esagonali delle api e delle vespe formano un telaio spaziale straordinariamente resistente.



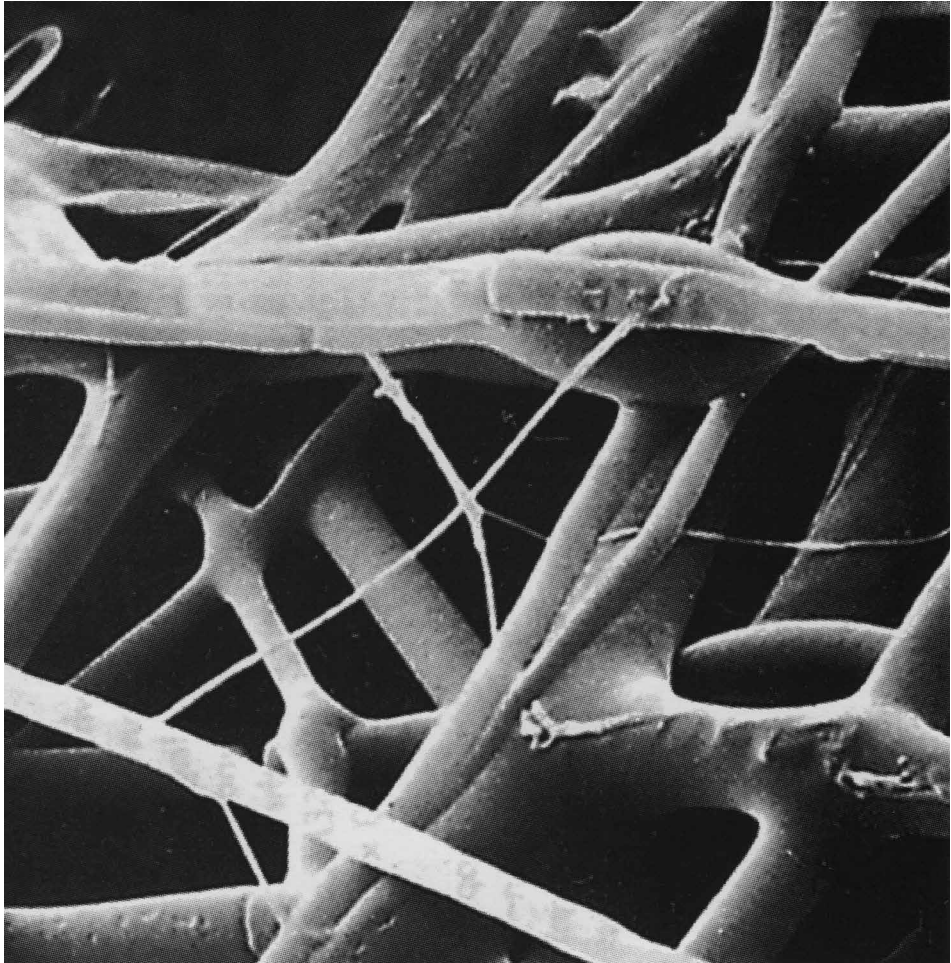
160.

The triangular section and spiralling shape of the house of a caddis-fly larva which resists crushing.

La sezione triangolare e la forma a spirale dell'involucro di una larva di tricottero gli consentono resistere allo schiacciamento.



161.
An attachment disk of a drag-line of the *Latrodectus tredecimguttatus* spider.
Un disco d'attacco di un filo di trascinamento della vedova nera mediterranea
(*Latrodectus tredecimguttatus*).



162.
Scanning electron micrograph of a section of the cocoon wall of *Deinopis*
spider.

Micrografia elettronica a scansione di una sezione della parete del bozzolo del
ragno *Deinopis*.

in wax production. Empty used cocoons are used by carder bees (*Bombus pascuorum*) as storage jars for nectar and pollen. The ponerine ant (*Prionopelta amabilis*) uses fragments of former silk cocoons to line pupal nest chambers to control humidity, and many small birds use spider or caterpillar silk in their nest construction. Spiders rebuild the nets frequently, often daily. Since the building material, the protein of the thread, is metabolically expensive, the spiders have evolved a parsimonious way: the thread is eaten but, in an unknown way, the protein passes through the digestive system and is soon available in the spinnerets for a new net.

Animal architecture is in perfect dynamic balance with its ecological context; the animal builders do not exhaust natural resources, or cause problems of waste and pollution.

Building behaviour has clearly some genetic base, and genetic change may therefore result in phenotypic novelty in the completed artefact. This novelty will then be exposed to the forces of natural selection. If it is advantageous, it will become more widely used and, perhaps, eventually replace the former architectural style. Changes in the features of animal structures indicate a change in the lifestyle of its builder, in Hansell's view.

Changes that activities of man have caused in the environment also make animals alter their behaviour and ways of construction. Squirrels and birds, for instance, which used to use beard moss in their constructions, are obliged to seek ersatz materials, such as mineral wool from human constructions, since beard moss has disappeared as a result of air pollution. The building ability of *Araneus* spiders has been observed to suffer from exposure to toxic DDT and PCB compounds: the webs become asymmetrical and distorted.

The slow evolution of animal artefacts can be compared with the processes of tradition in traditional human societies. Tradition is a force of cohesion that slows down change and ties individual invention securely to its patterns established through endless time and the test of life. It is this interaction of change and rigorous testing by forces of selection that is lost in human architecture of the era of industrialisation. Human architecture tends to evolve more under forces of cultural and social values than those of the organic and natural world.

Hansell stresses that it would be wrong to assume that changes in animal architecture are the cause of other evolutionary changes. After the failure of the Great Utopia, we too have lost our faith in the redemptive role of architecture. Hansell believes, however, that changes in architecture may be accompanied by other changes in the lifestyle of the animal. The same interdependence seems to apply to Man as well.

It is essential that our constructions are studied in their anthropological, socio-economic and ecological frameworks, in addition to the traditional metaphysical and aesthetic spheres of architectural thinking.

è comune anche tra api, vespe e formiche. Le api nane (*Apis florea*), per esempio, rosicchiano la cera del loro alveare abbandonato e la trasportano nei cestelli delle zampe per realizzarne uno nuovo con lo stesso materiale e risparmiare energia nella produzione della cera. I bombi dei pascoli (*Bombus pascuorum*) riutilizzano i bozzoli vuoti impiegandoli come vasi per lo stoccaggio del nettare e del polline. La formica ponerina (*Prionopelta amabilis*) ricicla frammenti di vecchi bozzoli di seta per foderare le camere dei nidi pupali in modo da controllare l'umidità, e molti piccoli uccelli impiegano la seta di ragno o di bruco nella costruzione dei propri nidi. I ragni ritessono le ragnatele di frequente, spesso quotidianamente, dato che il materiale da costruzione, ovvero la proteina del filo, è metabolicamente costoso, essi hanno sviluppato un modo parsimonioso: il filo viene mangiato ma, in un modo sconosciuto, la proteina attraversa il sistema digestivo ed è presto disponibile nei serbatoi per realizzare una nuova rete.

L'architettura degli animali è in perfetto equilibrio dinamico con il suo contesto ecologico; gli animali costruttori non esauriscono le risorse naturali, né causano problemi di rifiuti e di inquinamento. Il comportamento costruttivo ha chiaramente una qualche base genetica, e il cambiamento genetico può quindi concludersi con una novità fenotipica nel manufatto completato. La novità sarà poi esposta alle forze della selezione naturale, se è vantaggiosa, si diffonderà maggiormente e, forse, alla fine sostituirà lo stile architettonico precedente. Secondo Hansell, delle variazioni nelle caratteristiche delle strutture animali indicano una mutazione nello stile di vita del loro costruttore.

I cambiamenti che le attività dell'uomo hanno provocato nell'ambiente fanno sì che anche gli animali alterino il proprio comportamento e i relativi modi di costruire. Per esempio gli scoiattoli e gli uccelli che utilizzano il lichene detto barba di Giove nelle loro costruzioni sono obbligati a cercare dei materiali surrogati, come la lana minerale degli edifici dell'uomo, dato che la barba di Giove è scomparsa per colpa dell'inquinamento atmosferico. È stato osservato che la capacità edificatoria dei ragni *Araneus* soffre per l'esposizione ai composti tossici del DDT e PCB: le loro ragnatele diventano asimmetriche e deformi.

La lenta evoluzione degli artefatti animali può essere paragonata ai processi della tradizione nelle società umane. La tradizione è una forza di coesione che rallenta il cambiamento e lega saldamente l'invenzione individuale ai suoi modelli stabiliti attraverso un tempo immemorabile e attraverso le prove della vita. È l'interazione fra cambiamento e sperimentazione rigorosa da parte delle forze della selezione che si è persa nella nostra architettura dell'era dell'industrializzazione. L'architettura dell'uomo tende a evolversi maggiormente sulla spinta delle forze dei valori culturali e sociali piuttosto che su quella del mondo organico e naturale.

Hansell sottolinea che sarebbe sbagliato supporre che i cambiamenti nell'architettura degli animali siano la causa di altri cambiamenti evolutivi. Dopo il fallimento della Grande Utopia,

The lesson of animal architecture

I want to suggest that we could learn from studying the gradual and slow development and adaptation of animal constructions through the course of millions of years, since we, human architects of the electronic age, tend on the contrary to invent a new architectural style for each new season. Ants can be cited as an example of animals to learn from: they are among the most highly social of all creatures, and the study of ants has produced insights into the origins of altruistic behaviour.

It seems that the ecological rationality and functionality of our building is compromised, because architecture for us is also a means of attempting to understand and symbolise the world, and an attempt to achieve immortality. “Form is nothing but a desire for eternal life on earth”, as Alvar Aalto wrote as a young man. Architecture is, for us, more a mental mediator between the world and ourselves than a mediator between human life patterns and the ecological context. Functionality in human architecture is always compromised by cultural, psychic and aesthetic factors. Consequently, there is an inherent tendency away from ecological balance in our own constructions.

The examples of animal architecture represent an uncompromised ecological functionalism. Termites, for instance, were building their mound nests in the way they construct their mounds today tens of millions of years before our earliest primate ancestors walked the earth. And undoubtedly, they will continue to build their skyscrapers with automated air-conditioning long after *Homo sapiens* has disappeared from the face of the earth.

In the course of the four hundred and fifty years since Copernicus, we have abandoned the earth-centred view of the Universe. Nevertheless, we continue to look at Nature and the animal kingdom one-sidedly from the vantage point of humankind. This is exemplified innocently by children's fairy tales that dress animals in human costumes and have them live in houses that look like miniatures of our own architecture.

In the face of the urgent demand for ecologically better adapted forms of life and architecture, we may have to reverse the image; we should, perhaps, begin to imagine ourselves inhabiting houses inspired by the animal master-builders.

(Original in English)

anche noi abbiamo perso la fiducia nel ruolo salvifico dell'architettura. Tuttavia, Hansell ritiene che i cambiamenti nell'architettura possano essere accompagnati da altre mutazioni nello stile di vita degli animali. La stessa interdipendenza sembrerebbe applicarsi anche all'uomo. È essenziale che le nostre costruzioni siano studiate nel loro quadro antropologico, socioeconomico ed ecologico, oltre che nelle tradizionali sfere metafisiche ed estetiche del pensiero architettonico.

La lezione dell'architettura animale

Mi sento di suggerire che potremmo imparare qualcosa dallo studio del lento e graduale sviluppo e adattamento delle costruzioni degli animali nel corso di milioni di anni, perché noi, architetti umani dell'era elettronica, tendiamo al contrario a inventare un nuovo stile architettonico per ogni nuova stagione. Le formiche possono essere citate come esempio di animali da cui imparare: sono tra le creature più sociali, e il loro studio ha suggerito intuizioni sulle origini del comportamento altruista.

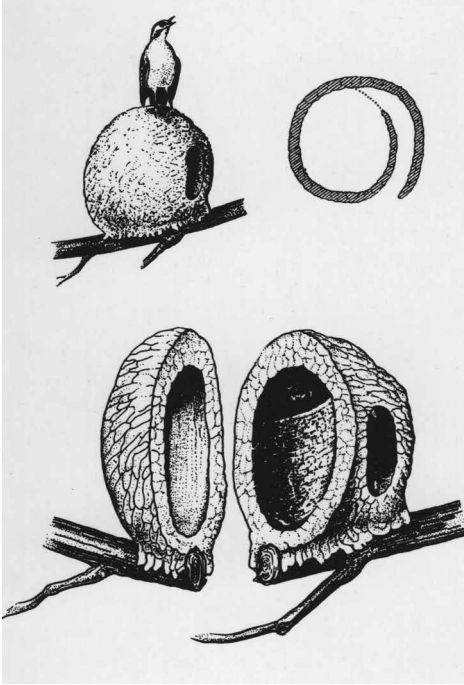
Sembrerebbe che la razionalità ecologica e la funzionalità del nostro costruire siano compromesse, perché l'architettura per noi è anche un mezzo col quale tentare di comprendere e simbolizzare il mondo, e un tentativo di raggiungere l'immortalità. "La forma non è altro che un desiderio di vita eterna sulla terra" scriveva il giovane Alvar Aalto. Per noi l'architettura è soprattutto un mediatore mentale tra il mondo e noi stessi piuttosto che tra i modelli di vita dell'uomo e il contesto ecologico. La funzionalità nell'architettura dell'uomo viene sempre compromessa da fattori culturali, psicologici ed estetici. Di conseguenza, c'è un'intrinseca tendenza ad allontanarsi dall'equilibrio ecologico nelle nostre costruzioni.

Gli esempi di architettura animale rappresentano un funzionalismo ecologico senza compromessi. Le termiti, per esempio, costruiscono i loro termitai nel modo in cui li costruiscono oggi decine di milioni di anni prima che i nostri primi antenati primati camminassero sulla terra. E senza dubbio continueranno a edificare i loro grattacieli con l'aria condizionata automatica molto tempo dopo che *Homo sapiens* sarà scomparso dalla faccia della terra.

Nel corso dei quattrocentocinquanta anni da Copernico a oggi abbiamo abbandonato la visione geocentrica dell'universo. Tuttavia, continuiamo a guardare la Natura e il regno animale in modo unilaterale, ossia dal punto di vista dell'uomo, il che viene esemplificato in modo innocente dalle favole per bambini che vestono gli animali con costumi umani e li fanno vivere in case che sembrano miniature della nostra stessa architettura.

Di fronte all'urgente richiesta di forme di vita e di architetture ecologicamente più idonee, potremmo dover invertire l'immagine; dovremmo, probabilmente, iniziare a immaginare noi stessi come abitanti di case ispirate dai maestri costruttori animali.



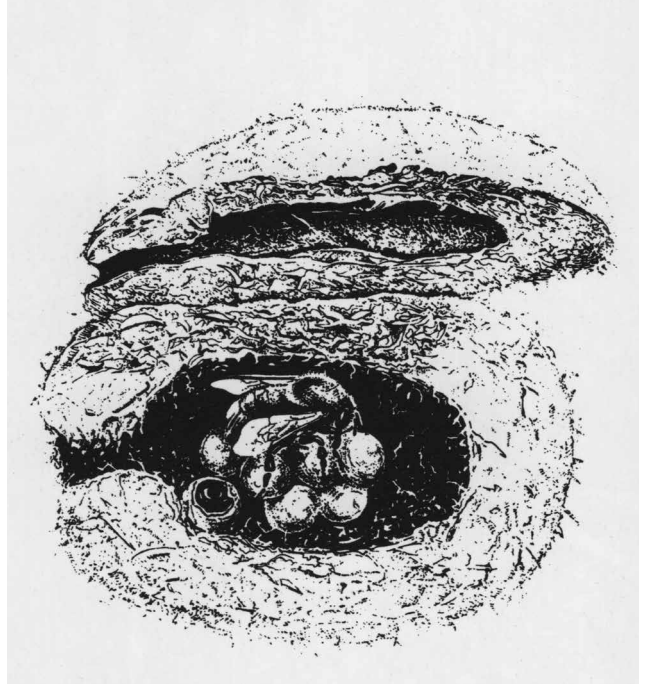


164.
The red oven bird (*Furnarius rufus*) builds a laborious mud nest at high cost. But the building activity is spread over the winter months, and takes place in bouts which coincide with mild weather and rainfall when soft mud is easily available.

Il fornaio rossiccio (*Furnarius rufus*) costruisce un laborioso nido di fango molto dispendioso da realizzare. Però l'attività di costruzione è distribuita durante i mesi invernali e si svolge nei periodi che coincidono con il tempo mite e con le piogge, quando il fango morbido è facilmente reperibile.

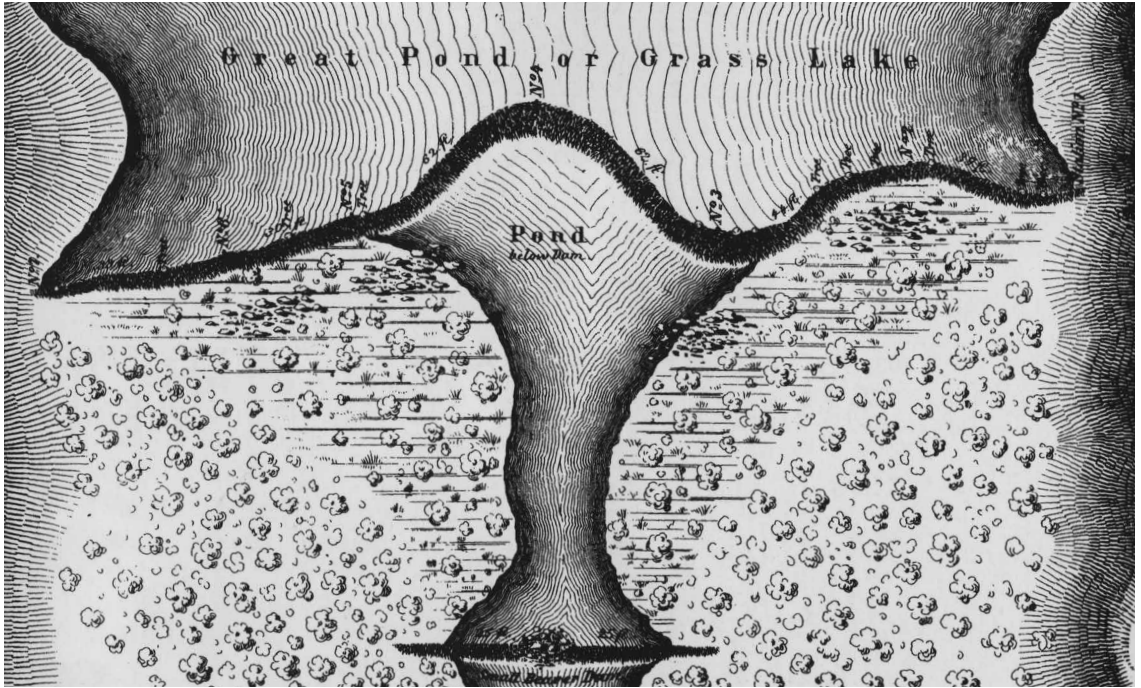
163.
The great grey bowerbird (*Chlamydera nuchalis*) has decorated his court with snail shells and adds a tin mug as a special decoration.

L'uccello giardiniere maggiore o clamidera maggiore (*Chlamydera nuchalis*) ha decorato la propria corte con gusci di molluschi e aggiunge una tazza di latta come elemento decorativo speciale.



165.
The common carder bee (*Bombus pascuorum*) uses its empty cocoons as storage jars for nectar and pollen.

Il bombo dei pascoli (*Bombus pascuorum*) utilizza i suoi bozzoli vuoti come vasi per stoccare nettare e polline.



166.

The curve of the beaver's dam is a structurally efficient shape in resisting the pressure of water. The narrower dam can be straight because the water pressure is not so great.

La curva della diga del castoro ha una forma strutturalmente efficiente per resistere alla pressione dell'acqua. La diga più stretta può essere rettilinea perché la pressione dell'acqua non è eccessiva.

167-168.

Construction activities and water regulation of beavers create new biotopes and prevent soil erosion in upland areas.

Le attività di costruzione e di regolazione delle acque da parte dei castori crea nuovi biotopi e previene l'erosione del suolo nelle aree montane.







169.

The unique open downs in Great Britain are a product of rabbits and sheep.

Le Downs della Gran Bretagna sono un esito del lavoro dei conigli e delle pecore.

170.

Ants alter the landscape profoundly.

Le formiche alterano profondamente il paesaggio.

171.

The shape and surface of attachment of the edible mucus nest of the swiftlet *Collocalia fuciphaga* precisely follow the forces of the cantilevered structure.

La forma e la superficie di attacco del nido di muco commestibile della salangana *Collocalia fuciphaga* seguono esattamente l'andamento delle linee di forza della struttura a sbalzo.



172.

A termite nest may be used for several centuries. In the architecture of man, metaphysical, symbolic and expressive intentions usually define the architectural form more than purely functional criteria.

Un nido di termiti può essere utilizzato per diversi secoli. Di solito nell'architettura dell'uomo sono le intenzioni metafisiche, simboliche ed espressive a definire la forma architettonica in misura maggiore rispetto a criteri puramente funzionali.



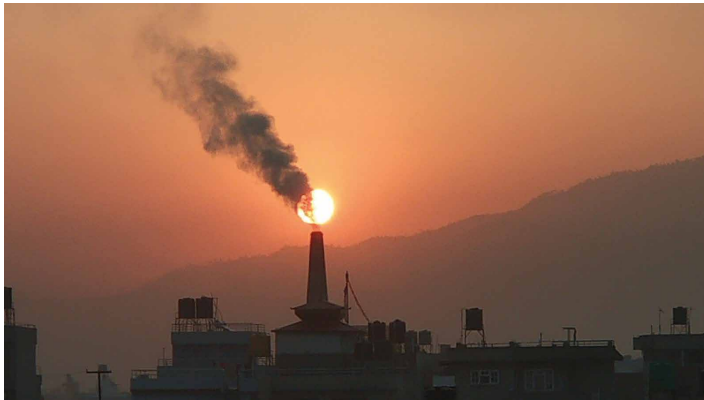
173.

The great pyramids of Giza.
Le grandi piramidi di Giza.



174.
Oscar Niemeyer, Modern Art Museum of Caracas, Venezuela, project, 1955.

Oscar Niemeyer, Museo d'arte moderna di Caracas, Venezuela, progetto, 1955.



175-176.
Indifference to ecological requirements endangers our entire existence.

L'indifferenza alle esigenze ecologiche mette in pericolo tutta la nostra esistenza.



- Allaby, Michael, *Animal Artisans*, Alfred A. Knopf, New York, 1982.
- Beck, Benjamin B., *Animal Tool Behaviour: The Use and Manufacture of Tools by Animals*, Garland STPM Press, New York, 1980.
- Collias, Nicholas E.; Collias, Elsie C., *Nest Building and Bird Behaviour*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1984.
- Campbell, Bruce; Lack, Elizabeth (eds.), *A Dictionary of Birds*, T&AD Poyser, Calton, 1985.
- Ellis, Malcolm (ed.), *Animal Specialists: Builders*, J.M. Dent and Sons Ud., London, 1979.
- Evans, Howard E.; West Ebenhard, Mary Jane, *The Wasps*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1970.
- Fabre, J.H., *Muistelmia hyonteismaailmasta*, WSOY, Porvoo, 1965.
- Frisch, Karl von, *Animal Architecture*, Harcourt Inc., New York, 1974 (Id., *L'architettura degli animali*, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1975).
- Guidoni, Enrico, *Primitive Architecture*, Rizzoli, New York, 1987 (Id., *Architettura primitiva*, Electa, Milano, 1975).
- Hancocks, David, *Animals and Architecture*, Hugh Evelyn, London, 1971.
- Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman, London and New York, 1984.
- Hansell, Michael H., "The ecological impact of Animal nests and burrows", in «Functional Ecology», 1993.
- Hansell, Michael H., "What's so special about using tools?", in «New Scientist» n. 8, January 1987.
- Havas, Paavo; Sulkava, Seppo, *Suomen luonnon talvi*, Kirjayhtyma, 1987.
- Hölldobler, Bert; Wilson, Edward O., *The Ants*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.

- Kangasniemi, Kaija (ed.), *Kodin suuri eläinikirja*, osat 1-10, Weilin&Göös, Espoo, 1981.
- Leakey, Richard E.; Lewin, Roger, *Origins*, Macdonald and Jane's, London, 1979.
- Lee, K.E.; Wood, T.G., *Termites and Soils*, Academic Press, London, 1971.
- Morgan, Lewis H., *The American Beaver*, Dover Publications, New York, 1986 (original edition/edizione originale 1868).
- Morris, Desmond, *Miksi seepralla on raidat*, WSOY, Porvoo, 1991.
- Mitchell, James; Stein, Jess (eds.), *The Random House Encyclopedia*, Random House, New York, 1990.
- Reuter, O.M., *De lägre djurens sjäslif*, Samson & Wallin, Stockholm, 1886.
- Rudofsky, Bernard, *The Prodigious Builders*, Harcourt Inc., New York, 1977.
- Sire, Marcel, *The Social Lite of Animals*, Studio Vista, London, 1965.
- Spoczynska, Joy O.I., *The World of the Wasp*, Frederich Muller Limited, London, 1975.
- Tinbergen, Niko, *Animal Behaviour*, Life Nature Library, Time-Life International, 1966.
- Vander Wall, Stephen B., *Food Hoarding in Animals*, The University of Chicago Press, Chicago, 1990.
-
- Lightweight Structures in Architecture and Nature* (Exhibition catalogue under the direction of Frei Otto) (IL 32), Institute for Lightweight Structures, University of Stuttgart, 1983.
- Nets in Nature and Technics* (IL 8), editors: Klaus Bach et al. under the direction of J.G. Helmcke and Frei Otto, Institute for Lightweight Structures, University of Stuttgart, 1975.
- Pneus in Nature and Technics* (IL 9), editors: Klaus Bach et al. under the direction of Eda Schaur et al.), Institute for Lightweight Structures, University of Stuttgart, 1976.

- 1 Diego Delso, delso.photo, License CC-BY-SA.
- 2 Sundaribardia (123RF).
- 3 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 4 From/Da Reuter, O.M., *De lägre djurens själslif*, Samson & Wallin, Stockholm, 1886.
- 5 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 6 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 7 From/Da Juhani Pallasmaa, *Animal Architecture*, Museum of Finnish Architecture, Helsinki, 1995.
- 8 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanella. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 9 Leppo, Markus/Suomen Valokuvataiteen museo, The Finnish Museum of Photography; Lepo, Markus, *Talonpoikaistalot*, wsoy 1973.
- 10 Hajotthu (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).
- 11 mhcollection (123RF).
- 12 James Vaughan.
- 13 LadyAnonymous (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).
- 14 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 15 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

- 16 2ddanga (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).
- 17 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 18 663highland (GNU Free Documentation License, Version 1.2).
- 19 Laurent Bélanger (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license).
- 20 Nic Redhead (Attribution-ShareAlike 2.0 Generic – CC BY-SA 2.0).
- 21 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 22 erikwestmann (123RF).
- 23 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 24 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 25 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 26 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 27 From/Da Morgan, Lewis H., *The American beaver and his works*, J.B. Lippincott, Philadelphia, 1868.
- 28 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 29 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Raccanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 30 From/Da Juhani Pallasmaa, *Animal Architecture*, Museum of Finnish Architecture, Helsinki, 1995.
- 31-32 Photo by / Foto di Fred from Belgium (<https://www.whatsthatbug.com/2013/05/19/paper-wasp-nest-from-costa-rica>).
- 33 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 34 Turid Hölldobler-Forsyth.

- 35 Kurt Kulac (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic license).
- 36 Dick Eussen.
- 37 Hölldobler, Bert; Hölldobler, Bert & Wilson, Edward O., *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1990.
- 38 Michalfuglevic (123RF).
- 39 aldorado10 (123RF).
- 40 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 41 George Bernard.
- 42 Stefan Hetz (<https://www.livescience.com/14517-diving-bell-spiders-underwater-bubbles.html>).
- 43 Brøgger, A.W., Øxer av nøstvettypen. Bidrag til kundskaben om aeldre norsk stenalder. Norges Geologiske Undersøgelse no 42. A.W. Brøggers Bogtrykkeri, Kristiania 1905.
- 44 From/Da Juhani Pallasmaa, *Animal Architecture*, Museum of Finnish Architecture, Helsinki, 1995.
- 45 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 46 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 47 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 48 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 49 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 50 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 51 Hectonichus (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license).

- 52 Noppharat (123RF).
- 53 https://www.antwiki.org/wiki/File:Colobopsis_nipponica,_Korea,_Minsoo_Dong.jpg#filelinks (Content is available under Creative Commons Attribution-ShareAlike).
- 54 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
55. Turid Hölldobler-Forsyth.
- 56 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 57 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 58 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 59 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 60 Saharadesertfox (GNU Free Documentation License, Version 1.2).
- 61 Glen Fergus (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic license).
- 62 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 63 Reuter, O.M., *De lägre djurens sjäslif*, Samson & Wallin, Stockholm 1886.
- 64 Camera Press/Terry Domico
- 65 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 66 adwo123 (123RF).
- 67 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 68 klublub (123RF).
- 69 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 70 Imagecom (123RF).
- 71 W. Bulach (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).
- 72 Franklin Vera Pacheco (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license).
- 73 User:IlyaHaykinson (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 1.0 Generic license).
- 74 Turid Hölldobler-Forsyth.

75 Turid Hölldobler-Forsyth.

76 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanella. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

77 Turid Hölldobler-Forsyth.

78 wrobel27 (123RF).

79 Juha Ilkka.

80 Turid Hölldobler-Forsyth.

81 Turid Hölldobler-Forsyth.

82 Turid Hölldobler-Forsyth.

83 Turid Hölldobler-Forsyth.

84 From/Da Juhani Pallasmaa, *Animal Architecture*, Museum of Finnish Architecture, Helsinki, 1995.

85 Turid Hölldobler-Forsyth.

86 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

87 Tomasz Przechlewski (This file is licensed under the Creative Commons Attribution 2.5 Generic license).

88 Turid Hölldobler-Forsyth.

89 Poramesstock (123RF).

90 Turid Hölldobler-Forsyth.

91 Tatsianahendzel (123RF).

92 EcoSnap (123RF).

93 Stoonn (123RF).

94 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

95 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

- 96 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 97 Luis Carlos De Volder.
- 98 kjwells86 (123RF).
- 99 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 100 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 101 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 102 vinisouza128 (123RF).
- 103 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 104 Steve Ormerod.
- 105 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 106 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 107 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 108 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 109 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 110 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 111 Juha Ilkka.
- 112 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 113 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 114 Judy Gallagher (This file is licensed under the Creative Commons Attribution 2.0 Generic license).
- 115 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

116 Camera Press/Frants Hartmann.

117 From/Da Juhani Pallasmaa, *Animal Architecture*, Museum of Finnish Architecture, Helsinki, 1995.

118 Collias, Nicholas E. & Collias, Elsie C., *Nest Building and Bird Behaviour*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1984. Orig. Skutch, Alexander F., *Life Histories of Central American Birds*, 1960.

119 Joseph C. Boone (This file is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 Generic license).

120 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

121 Turid Hölldobler-Forsyth.

122 Wdigitalproductions (123RF).

123 Juha Ilkka.

124 Turid Hölldobler-Forsyth.

125 Turid Hölldobler-Forsyth.

126 Bannister.

127 Turid Hölldobler-Forsyth.

128 Turid Hölldobler-Forsyth.

129 Turid Hölldobler-Forsyth.

130 Collias, Nicholas E. & Collias, Elsie C., *Nest Building and Bird Behaviour*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1984. Orig. Skutch, Alexander F., *Life Histories of Central American Birds*, 1960.

131 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

132 Timo Kiukkola.

133 Turid Hölldobler-Forsyth.

134 Dario Sanches (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic license).

135 Turid Hölldobler-Forsyth.

136 Turid Hölldobler-Forsyth.

137 Michael Palmer (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).

138 Whiskybottle (123RF).

139 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

140 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

141 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

142 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

143 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

144 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

145 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.

146 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

147 Turid Hölldobler-Forsyth.

- 148 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 149 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 150 Science Photo Library/Claude Nuridsany & Marie Peren.
- 151 Hans Hillewaert (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).
- 152 Wagnermk (123RF).
- 153 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 154 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 155 rixie (123RF).
- 156 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.
- 157 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 158 Camera Press/Hans Pfletschninger.
- 159 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 160 Science Photo Library/Claude Nuridsany & Marie Perenneou.
- 161 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 162 IL 8. Netze in Natur und Technik. Nets in Nature and Technics. Topical direction J.G. Helmcke & Frei Otto, editors Klaus Bach, Berthold Burkhardt Rainer Graefe, Roberto Racanello. Institut für Leichte Flächentragwerke, Institute for Lightweight Structures, Universität Stuttgart 1975.
- 163 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 164 Turid Hölldobler-Forsyth.
- 165 Turid Hölldobler-Forsyth .
- 166 Morgan, Lewis H., *The American beaver and his works*, J.B. Lippincott, Philadelphia, 1868.
- 167 Lars Falkdalen Lindahl (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license).

168 Hugo.org (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license).

169 Amanda Slater Attribution-ShareAlike 2.0 Generic (CC BY-SA 2.0).

170 Steidi (123RF).

171 Michael H. Hansell, da Hansell, Michael H., *Animal Architecture & Building Behaviour*, Longman Group Limited, New York, 1984.

172 Schnobby (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license).

173 Morhaf Kamal Aljaneer (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license).

174 Wikipedia (Public Domain).

175 Janak Bhatta (This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license).

176 zorandim (123RF).

Titoli pubblicati

1. Alessandro Brodini, *Lo Iuav ai Tolentini: Carlo Scarpa e gli altri. Storia e documenti*, 2020
2. Letizia Dipasquale, *Understanding Chefchaouen. Traditional knowledge for a sustainable habitat*, 2020
3. Vito Getuli, *Ontologies for Knowledge modeling in construction planning. Theory and Application*, 2020
4. Lamia Hadda (édité par), *Médina. Espace de la Méditerranée*, 2021
5. Letizia Dipasquale, Saverio Mecca, Mariana Correia (eds.), *From Vernacular to World Heritage*, 2020
6. Sarah Robinson, Juhani Pallasmaa (a cura di), traduzione di Matteo Zambelli, *La mente in architettura*, 2021
7. Magda Minguzzi, *The Spirit of Water*, 2021
8. Rita Panattoni, *I mercati coperti di Giuseppe Mengoni*, 2021
9. Stefano Follesa, *Il progetto memore. La rielaborazione dell'identità dall'oggetto allo spazio*, 2021
10. Monica Bietti, Emanuela Ferretti (a cura di), *Il granduca Cosimo I de' Medici e il programma politico dinastico nel complesso di San Lorenzo a Firenze*, 2021
11. Giovanni Minutoli, *Rocca San Silvestro. Restauro per l'archeologia*, 2021



Finito di stampare da
Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli s.p.a. | Napoli
per conto di FUP
Università degli Studi di Firenze

Di solito guardiamo superficialmente le piante e gli animali come incantevoli e straordinarie curiosità della natura, mentre un'osservazione più ravvicinata rivela sorprendenti accorgimenti, logiche di forma e struttura, e anche complessità inaspettate. Per esempio, le recenti ricerche sulla comunicazione degli alberi e le loro collaborazioni con i funghi dovrebbero farci vedere le foreste con occhi del tutto nuovi.

L'architettura degli animali scruta da vicino i vari modi in cui gli animali, dai protozoi ai primati, alterano il proprio rapporto con l'ambiente attraverso costruzioni che li proteggono dalle minacce per mezzo delle loro strutture e di accorgimenti mimetici. Gli animali sono in grado di regolare la temperatura, l'umidità e la circolazione dell'aria delle loro costruzioni, le quali possono anche essere efficienti dispositivi di cattura. Gli animali hanno sviluppato sistemi strutturali e materiali, come le drag-line dei ragni e il guscio dei mitili, che sono più resistenti delle invenzioni umane a essi comparabili. Nel comportamento edificatorio degli animali è stato perfino riscontrato l'emergere evidente di scelte estetiche. Le costruzioni animali sono state perfezionate nel corso di decine o centinaia di milioni di anni, mentre le più antiche costruzioni umanoidi si ritiene abbiano solo mezzo milione di anni.

È essenziale studiare i miracoli dei processi evolutivi per capire quanto possano essere criticabili alcune delle nostre false credenze e supposizioni.

Juhani Pallasmaa, architetto teorico e praticante, è membro onorario del SAFA (Society of Finnish Architects), dell'AIA (American Institute of Architects) e del RIBA (Royal Institute of British Architects). Ha ricevuto numerose lauree honoris causa in architettura, tecnologia e arte. Ha ricoperto la carica di direttore sia del Finnish Museum of Architecture sia del Dipartimento di Architettura presso la Helsinki University of Technology. È autore di oltre trenta libri, tra cui *Gli occhi della pelle*, *L'architettura e i sensi*, *La Mano che pensa*, *L'immagine incarnata*, *Frammenti*, *Collage e discontinuità nell'immaginario architettonico* e *Inseminations. Seeds for Architectural Thoughts*.