

naturalmente scienza

giugno 2022

anno 3

numero 2

quadrimestrale

in questo numero:

IN PRIMO PIANO: *Conseguenze della guerra su crisi climatica e ricerca scientifica* di Elena Gagliasso • *La complessità delle relazioni fra scienza e guerra* di Angelo Baracca • *Ecologia di guerra* di Giambattista Bello • **RITRATTO DI FAMIGLIA:** *Porpitidae* di Angelo Vazzana • **FOCUS:** **MARCELLO BUIATTI, UN'EREDITÀ PER IL FUTURO:** *Il pensiero come scelta di vita* di Anna Anglani Buiatti • *Alla ricerca di senso nella scienza: il lavoro del biologo che pensa* di Giuseppe Longo • *A scuola con Marcello Buiatti* di Francesca Civile • *Un percorso comune verso la complessità: scienza, politica e storie personali* di Manuela Giovannetti • *Un filo rosso. Marcello Buiatti e l'associazione Ambiente e Lavoro* di Renato Cecchi e Alessandro Lippi • **UNO SCATTO ALLA NATURA:** *Un nastro carico di vita* di Ignazio Riccioli e Giambattista Bello • **CONTRIBUTI:** *Sotto le lenti del microscopio (terza parte: i nuovi strumenti per una migliore conoscenza delle cellule)* di Alessandro Minelli • *L'architettura delle api sociali* di Piero Sagnibene • *Biodiversità e Musei: un progetto espositivo pluriennale* di Simone Farina • **FARE SCUOLA:** *Insegnare per far capire* di Paolo Guidoni • *Pensieri sulla formazione scientifica di base* di Cristina Duranti

Direttore responsabile

Alessandra Borghini

Direzione scientifica

Vincenzo Terreni, Maria Turchetto

Comitato editoriale

Giambattista Bello, Paola Bortolon,
Maria Castelli, Raffaello Corsi,
Fabio Fantini, Lucia Stelli

Proprietà della testata

Vincenzo Terreni

Comitato scientifico

Germano Bellisola (Liceo Classico Vicenza), Elena
Bonaccorsi (Università di Pisa), Silvia Caravita
(CNR Roma), Aldo Corriero (Università di Bari),
Elena Falaschi (Università di Pisa), Elena Gagliasso
(Università di Roma "La Sapienza"), Irene Gatti
(MPI Roma), Bruno Massa (Università di Palermo),
Alessandro Minelli (Università di Padova), Stefano
Piazzini (Liceo Scientifico Ancona), Marco Piccolino
(Università di Ferrara), Giovanni Scillitani (Università
di Bari)

Gli articoli pubblicati nelle sezioni *In primo piano*,
Focus, *Contributi* e *Fare scuola* sono sottoposti a un
processo di revisione anonimo tra pari (blind peer
review).

In copertina e controcopertina:

Isola nelle Antille olandesi, foto di Patrizia Panicucci

Informazioni e contatti

<https://www.naturalmentescienza.it>

redazione@naturalmentescienza.it

+39 349 6396739

Prezzi e condizioni di abbonamento

singolo fascicolo formato PDF: € 5,00

singolo articolo formato PDF: € 2,00

singolo fascicolo cartaceo: € 11,00

abbonamento annuale privato

(3 numeri) formato PDF: € 10,00

abbonamento istituzionale

(3 numeri) formato PDF: € 15,00

abbonamento annuale privato

(3 numeri) cartaceo: € 25,00

abbonamento istituzionale

(3 numeri) cartaceo: € 35,00

Indirizzare i pagamenti a:

BANCO POPOLARE

IBAN IT38G0503414011000000359148

Registrazione presso il Tribunale di Pisa n. 1/2021

© Copyright 2022

Edizioni ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16 - 56127 Pisa

info@edizioniets.com

www.edizioniets.com

Distribuzione

Messaggerie Libri SPA

Sede legale: via G. Verdi 8 - 20090 Assago (MI)

Promozione

PDE PROMOZIONE SRL

via Zago 2/2 - 40128 Bologna

editoriale

Questa volta parleremo un po' di noi.

Quello che avete tra le mani o davanti a voi sul monitor è il settimo numero della rivista uscita da ETS con la puntualità promessa di periodico quadrimestrale (per ora). Questa puntualità ha richiesto un lavoro puntuale di tutta la redazione e della casa editrice che ha avuto fiducia nella nostra solvibilità. Già perché le riviste costano, soprattutto quelle di carta che diventano per questo motivo sempre più rare ma rimangono anche le più belle e facili da leggere e spiegabilmente da apprezzare, comode perché permettono di ritrovare senza tanti click l'articolo o la pagina che stiamo cercando.

Una rivista come la nostra, con una foliazione di circa 80 pagine a colori in formato A4, ha dei costi di produzione piuttosto alti ed è stato questo il motivo che ha costretto alla chiusura definitiva *NATURALMENTE*, che pure era in bianco e nero, uscita ininterrottamente dal 1987 al 2014. Il costo della carta e le spese di spedizione sono cresciute fino a costringere alla resa. Questo nuovo tentativo non è stato intrapreso alla leggera e nessuno si è nascosto la difficoltà di questa scelta. Per costruire un numero ci vuole un progetto solido che prevede interventi su vari aspetti del sapere scientifico: si deve essere in grado di proporre di volta in volta interventi originali e interessanti, il reperimento di tali articoli è uno dei passaggi essenziali e può andare a buon fine se un gruppo di autori bravi, quotati e molto generosi continuano a fornire la loro collaborazione. Poi l'impaginazione richiede accortezza e un mestiere consolidato che crei l'aspetto finale per consentire una lettura facile e gradevole.

Siamo ripartiti con l'intenzione di durare e di offrire dei numeri sempre all'altezza delle aspettative. Per ottenere questo risultato non basta la fiducia di un editore amico come ETS, occorre vendere delle copie che coprano i costi di produzione perché anche gli editori amici campano di vendite: per un po' possono continuare a farci credito, ma alla lunga non si regge.

Ecco allora un'idea che ha preso corpo lentamente, ma con sempre maggiore concretezza: creare una associazione "Amici di *NATURALMENTE*scienza" in grado di accedere ai finanziamenti previsti per l'editoria scientifica e permetterci così di far conoscere in modo più vasto il nostro lavoro, di farlo sempre meglio e per un numero di lettori in aumento. Siamo nella fase iniziale di questo percorso che prevede una partecipazione attiva da parte dei nostri lettori per avviare un'attività che, se ben condotta, non mancherà di fornirci delle soddisfazioni.

Qui i numeri usciti e le informazioni per abbonarsi:

<https://www.naturalmentescienza.it/sections/?s=17>

SOMMARIO

IN PRIMO PIANO

Conseguenze della guerra su crisi climatica e ricerca scientifica <i>di Elena Gagliasso</i>	5
La complessità delle relazioni fra scienza e guerra <i>di Angelo Baracca</i>	9
Ecologia di guerra <i>di Giambattista Bello</i>	16

RITRATTO DI FAMIGLIA

Porpitidae <i>di Angelo Vazzana</i>	19
--	----

FOCUS: MARCELLO BUIATTI: UN'EREDITÀ PER IL FUTURO

Il pensiero come scelta di vita. Introduzione alla giornata di studi <i>di Anna Anglani Buiatti</i>	28
Alla ricerca di senso in scienza: il lavoro del biologo che pensa <i>di Giuseppe Longo</i>	29
A scuola con Marcello Buiatti <i>di Francesca Civile</i>	34
Un percorso comune verso la complessità: scienza, politica e storie personali <i>di Manuela Giovannetti</i>	37
Un filo rosso. Marcello Buiatti e l'Associazione Ambiente e Lavoro <i>di Renato Cecchi e Alessandro Lippi</i>	39

UNO SCATTO ALLA NATURA

Un nastro carico di vita <i>di Ignazio Riccioli e Giambattista Bello</i>	43
---	----

CONTRIBUTI

Sotto le lenti del microscopio. Parte terza: i nuovi strumenti per una migliore conoscenza delle cellule <i>di Alessandro Minelli</i>	45
L'architettura delle api sociali <i>di Piero Sagnibene</i>	52
Biodiversità e Musei: un progetto espositivo pluriennale <i>di Simone Farina</i>	63

FARE SCUOLA

Insegnare per far capire <i>di Paolo Guidoni</i>	68
Pensieri sulla formazione scientifica di base <i>di Cristina Durante</i>	75

Conseguenze della guerra su crisi climatica e ricerca scientifica*

Elena Gagliasso

The war is not only causing devastation to human beings, but also very serious damage to ecosystems - partly similar to those already studied in previous wars, partly new. In terms of scientific research, we can obviously expect an increase in research for war purposes and a diversion of resources in this sense, but also a serious decrease in scientific democracy.

Keywords: *War, Ecosystems, Scientific democracy*

Guerra e crisi climatica

Sul piano ambientale la guerra ha creato soglie di non ritorno. I tempi di un complessivo rinnovamento dell'attuale forma economica – di quella che poteva essere una “conversione”, piuttosto che una “transizione” ecologica¹ – sono ormai agli sgoccioli. Era già così prima della guerra, e tutti gli obiettivi verso i quali già troppo lentamente ci stavamo avviando – dall'economia circolare, alle tecnologie *green*, alla produzione di energia da fonti rinnovabili, così come la crescita delle competenze sociali diffuse sullo stato della salute della biosfera e sull'emergenza climatica – erano ancora fumosi o perlomeno realizzati in misura ancora insufficiente per rispettare i valori già fissati nei Protocolli di Parigi nel 2015 e riaggiornati nella conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 26) del novembre 2021 a Glasgow. Tutto ciò rischia adesso di essere vanificato dalla rapida marcia indietro che la guerra nel cuore dell'Europa va producendo. L'abbiamo sotto gli occhi: nuovi rigassificatori di metano, ricupero del carbone, nuove aperture sul nucleare, recupero, anche finanziario, del ritorno al petrolio.

Insieme alla generale regressione temporale e poco riconosciuta nei suoi contraccolpi ecosistemici, la guerra sta già generando danni molto seri negli ecosistemi a breve e lungo raggio. Tutte le guerre lo fanno, la differenza



* L'intervento, in forma più estesa, è visibile in www.centroriformastato.it/traguarda-e-crisi-ecologica-assemblea-trimestrale-del-crs/

1. Gagliasso E, *Una conversione epistemica in corso: tra conoscenze incerte e soluzioni urgenti*, in (a cura di) Cori L, Re S, Bian-

chi F, Carra L, *Comunicare ambiente e salute. Aree inquinate e cambiamenti climatici in pandemia*, Pisa, Edizioni ETS, 2021.

con questa è che ora noi ne siamo ben più consapevoli che nel secolo passato. Non parlo soltanto di rischi locali e della devastazione sugli esseri umani, ma di ferite ben visibili agli assetti ambientali, simili a quelle già studiate nel caso di guerre precedenti, come gli effetti duraturi dei defolianti in Vietnam, o quelli dei pozzi petroliferi incendiati in Iraq.

Oggi in questa guerra si tratta della combinazione tra gli elementi di distruzione tipici di qualsiasi guerra ad altissima intensità distruttiva, combattuta con armi molto avanzate, e le caratteristiche della regione geografica ed ecologica che attualmente ne è la prima vittima. Mi riferisco in particolare al Donbass, la zona più industrializzata in cui si combatte e dove, attraverso le osservazioni satellitari, è stato già rilevato che il suolo si comporta in modo strano, sprofondando e alzandosi in un vasto territorio percorso da centinaia di chilometri di gallerie, alcune delle quali inondate da acque portatrici di elementi chimici pesanti, residui radioattivi, sostanze tossiche, che minacceranno l'approvvigionamento idrico dell'intera regione. Non mi riferisco solo a fenomeni di carenza oggi (bombardamenti di acquedotti e depositi di cibo sono strumenti di carneficine per "prendere per fame e sete" il nemico che mescolano tratti d'orrore arcaici con quelli avveniristici), ma al fatto che a ciò si affianca il rischio di una devastazione durevole: elementi di alta nocività per qualsiasi organismo vivente che si depositano e resteranno presenti nelle falde. Un dono atroce per le generazioni a venire, a prescindere da chi tra i belligeranti vivrà in futuro su quelle terre. In passato queste zone erano state già sede di test nucleari, raggiungendo livelli di radioattività tali per cui gli scienziati ucraini avevano segnalato, per tutta la regione, rischi che potevano essere anche maggiori rispetto al disastro Cernobyl. "L'area è stata uno degli epicentri minerari del mondo, con centinaia di estrazioni attive e inat-

tive, una catastrofe ecologica in *slow motion*, in grado di contaminare acqua e suolo, sulla quale la guerra ha riacceso i riflettori e che rischia di avvelenare ancora di più. Secondo un report della Banca mondiale, in Donbass ci sono 900 siti industriali, 40 fabbriche metallurgiche, 177 siti chimici ad alto rischio, 113 siti che usano materiali radioattivi, 248 miniere, 1.230 chilometri di tubature che trasportano gas, petrolio e ammoniaca, 10 miliardi di tonnellate di rifiuti industriali. Una polveriera che gli otto anni di conflitto, e questa invasione russa, rischiano di far detonare"². Soprattutto l'inquinamento del fiume Donetsk con piombo, arsenico, mercurio era già sotto osservazione (e dal 2014 l'abbandono delle fabbriche e degli impianti avevano aumentato la potenzialità di disastri ambientali per mancanza di manutenzione). Adesso, naturalmente, nel pieno degli avvenimenti, con la guerra in corso, non abbiamo la possibilità di monitorare i fenomeni in questione, ma fin d'ora è lecito affermare che nell'epicentro del conflitto è in atto una vera e propria catastrofe ecologica di immane portata. Ma il panorama delle conseguenze ambientali è parziale se tiene conto dell'inquinamento di sostanze tossiche solo dal punto di vista quantitativo. Sono le circolarità viventi che vengono colpite (per esempio anche le bombe inesplose continueranno a rilasciare nei suoli, dove si coltiva, dove vivono gli alberi, sostanze tossiche di cui quindi gli animali e gli umani si nutriranno). Già dal 2014, sette anni di guerra avevano distrutto per effetti collaterali dei bombardamenti circa 530 mila ettari boschivi compresi ben diciotto parchi naturali, unici al mondo (foreste incontaminate e zone umide del delta di due fiumi). Si prepara così enorme futura perdita di mondi vegetali e animali per devastazioni a lungo termine. Ricordiamo anche che il suolo così inquinato contiene anche una biomassa microbica intorno alle migliaia di tonnellate, essenziale per la vita, a sua volta destinata a esse-

2. Cotugno F, *La guerra ha riacceso la luce sui disastri ecologici dimenticati del Donbass*, in Domani, 27 febbraio, 2022.

re completamente stravolta in modi imprevedibili da quello che sta avvenendo. Un dato solo, folgorante: l'Ucraina, che occupa il 6% della superficie in Europa, possiede (possedeva?) ben il 35% della biodiversità dell'intero continente.

Guerra e ricerca scientifica

Passo ora ad un secondo ordine di considerazioni. Che cosa succede sul piano della ricerca scientifica. Facciamo mente locale a una ben nota ovvietà metodologica, ma che in questo frangente necessita di specifica attenzione: la scienza si basa su pratiche di condivisione transnazionali costanti e intense. Queste spesso non travalicano gli interessi economici degli Stati, ma riescono a superare quelli politici. Emblematicamente, perfino in questa situazione di guerra, abbiamo assistito all'abbraccio tra l'astronauta americano Mark Vande Hei e i colleghi russi Pyotr Dubrov e Anton Shkaplerov tornati sulla terra. Ecco, con la continuazione del conflitto, è difficile che di questi abbracci se ne possano vedere ancora. Ricordiamo anche che proprio i primi a condannare l'invasione dell'Ucraina sono stati centinaia di scienziati russi con dichiarazioni che li espongono in prima persona a gravi rischi personali. Frontiere insormontabili per la ricerca le avevamo conosciute ai tempi dell'Urss, laddove per lunghi decenni intere comunità di ricerca sono diventate mute negli scambi con l'Occidente (e molte sono state perseguitate fino all'internamento nei Gulag).

Lo sappiamo da sempre ormai: la dimensione della collaborazione transnazionale è una componente essenziale della democrazia scientifica, della democrazia *dentro* la scienza e la scienza, senza democrazia, cessa di esistere.

Quella che può sopravvivere, anzi prosperare, anche con un tasso abbastanza basso di democrazia è la *tecnoscienza*, per esempio la ricerca bellica, una ricerca scientifica che non conosce confini e ha ormai molti e ben precisi sponsor. Regolar-

mente anche la ricerca militare applica il metodo scientifico, a prescindere dall'etica della ricerca, lo applica su tutte le scale e su tutte le innovazioni delle armi anche "convenzionali" (non solo necessariamente, sulle armi nucleari o tattico-nucleari). Per esempio, a proposito del "buon uso" del metodo scientifico, si sa che le mine antiuomo sono state accuratamente perfezionate per mezzo di un approccio di tipo *trial and error*: oggi sono equipaggiate con una tecnologia di intelligenza artificiale molto sofisticata ottenuta osservando quello che succedeva in Afghanistan quando i ribelli, per farle saltare, mandavano avanti le loro greggi di pecore. Ecco come risultato di successo, oggi le mine sanno distinguere tra il passo umano e il passo di un animale, possono elevarsi in altezza e essere più devastanti delle mine a grappolo di anni fa.

Quel tipo di ricerca progredisce quindi e usa il "test" dei campi di battaglia come verifica di "efficienza". Si affina la dimensione tecno-scientifica, ma la ricerca di tipo teorico, la ricerca di fondo, di base, quella che necessita di tempi liberi e lunghi, di libertà mentale creativa e non centrata solo sull'urgenza del prodotto è più a rischio perché non sopporta che la democrazia decresca e che il dialogo si interrompa.

Certo, sappiamo bene che la democrazia in senso lato ovunque non gode di buona salute, e sappiamo anche che lo stesso rapporto tra democrazia e ricerca scientifica, negli ultimi anni, è entrato in sofferenza. Un intero numero della rivista *Notizie di Politeia* è stato dedicato proprio a questa difficoltà di coniugare i principi della democrazia politica, civile, con quelli della democrazia scientifica, alla difficoltà di salvaguardare il principio che faceva dire a Popper che la scienza si dà solo in una società libera³. La nostra è una società libera, relativamente libera, su tanti piani, ma ormai è chiaro che il rapporto tra la ricerca scientifica e gli *stakeholders* finanziari, quello con gli interessi delle grandi *corporate*

3. Rufo F (a cura di), *Ripensare il rapporto tra scienza e democrazia. Verso la costruzione della cittadinanza scientifica*, *Notizie di Politeia*, 126, 2017.

imprenditoriali, non può non essere vigilato con preoccupazione per la riduzione del tasso di democrazia a cui molti suoi settori di ricerca sono sottoposti. In più va aggiunto che oggi, con una guerra in corso che si va espandendo (ma sarà così anche dopo la sua conclusione), alcune ricerche sconteranno una perdita di significato, mentre altre si gioveranno della situazione. Anche se dovesse finire a breve, quello che è successo ha creato per il futuro un effetto soglia irreversibile. Se la “torta finanziaria” della ricerca è quella che è, e la situazione porterà a perfezionare, per restare sul tema, le mine antiuomo, o i droni sempre più invisibili al nemico, o a potenziare altri sistemi d’arma sempre più letali per i corpi, ma ad esempio meno dannosi per le infrastrutture, difficilmente potranno essere economicamente premianti studi su come si riproducono insetti e anfibi nelle zone umide, o su quali sistemi di cure parentali sono preferiti in remote culture di nativi delle foreste pluviali. Se le scelte tecno-militari sono privilegiate – e nel nuovo ordine-disordine mondiale che avanza promosse – è chiaro che ne conseguirà un dirottamento di risorse, e se questo dirottamento diventerà stabile, esso raggiungerà una dimensione finanziaria di autoalimentazione notevole. Infatti dietro le scelte di riarmo, dietro la necessità di avere un sistema di armamenti europeo più robusto, la crescita estesa di *spesa* militare (che riguarda anche il nostro Paese, non ce lo dimentichiamo) trascina con sé anche la spesa per la *ricerca* militare innovativa. Spendiamo sì per acquisire e produrre serialmente sistemi d’arma, ma si spenderà moltissimo anche per migliorarli, perfezionarli, renderli sempre più competitivi, “scoprire” ulteriori tecnologie di morte. Con un effetto di “schismogenesi” incrementale, come a suo tempo lo chiamava riferendosi alla deterrenza della Guerra Fredda Gregory Bateson: un processo che a partire dalla crescita della conflittualità tra sfere d’influenza può andare esponenzialmente fuori controllo. Cosicché, se alla crescita di certi settori della ricerca, sostenuti dalle dinamiche finanziarie,

affianchiamo la diminuzione della dimensione democratica della transnazionalità e della comunicazione trasparente (sempre solo relativamente trasparente) tra ricercatori in cooperazione e competizione virtuosa di aree di mondi in conflitto, ecco che torneranno ad essere innalzate barriere di totale segretezza.

A ciò corrisponde un ulteriore contrappunto nel rapporto tra comunità scientifiche e comunità civili: una erosione del delicato e acerbo legame tra cittadinanza scientifica e ricerca, la *citizens science*, su cui tanto si stava lavorando negli ultimi vent’anni. Un rapporto considerato da molti epistemologi e storici della scienza come elemento nuovo, aurorale, ricco di potenzialità maturative per entrambi i poli. È chiaro che difficilmente, in condizioni di segretezza, nell’ignoranza di quello che la ricerca sta producendo, le cittadinanze potranno muoversi. Certo, situazioni di segretezza c’erano anche prima e le ricerche blindate sugli armamenti si facevano anche prima e si ramificavano in molti settori “civili” come l’Intelligenza Artificiale, gli studi sui Big Data, le neuroscienze e così via. Ma il problema qui è quando la quantità, che potrà avere una ben altra crescita, si trasforma in qualità.

La cittadinanza scientifica, lo sappiamo, ha avuto ad esempio un peso notevole sull’elaborazione dei Protocolli climatici, ha innervato il tessuto dei movimenti ambientalisti, è stata significativa nelle ricerche di epidemiologia ambientale sui territori inquinati. Negli ultimi 20 anni, in questi e in altri casi c’è stato un avanzamento di civiltà e di competenze condivise: un fenomeno interessantissimo che ha prodotto studi e riflessioni sul cambiamento epistemico che tutto ciò comportava. Ma nelle condizioni che stanno incalzando, la cittadinanza scientifica viene messa in scacco. Non parlo di un vero e proprio silenziamento, ma certamente si verifica una forte erosione del suo potere interlocutorio: di fronte a una guerra, se non sparisce, ha di certo una voce estremamente flebile e ininfluenza. ●

La complessità delle relazioni fra scienza e guerra

Angelo Baracca

The links between scientific research and military applications are very complex, especially with the exaggerated application of the most advanced innovations to "weapon systems". Knowledge transfer is not only direct. The problem has quantitative and qualitative aspects. The portion of the scientific community that works for armaments is enormous: there are large research laboratories with thousands of state or corporate researchers, but many scientists and technicians work on subjects also indirectly linked to armaments.

Keywords: *Scientific research and military applications*

Per ogni problema complesso, c'è sempre una soluzione semplice.

Che è sbagliata.

George Bernard Shaw

Penso che sia chiaro a chiunque, anche se non esperto nel settore, che gli armamenti sono sempre più basati sulle tecnologie e le conoscenze scientifiche più avanzate e in continua evoluzione. Il termine "sistema d'arma" è sempre più appropriato, per la complessità sia dei componenti sofisticati, sia delle conoscenze e delle tecniche che vengono utilizzate per realizzare sistemi aggressivi, di morte e devastazione. Qualsiasi conoscenza o tecnica nuova viene applicata a fini militari: è senz'altro vero anche il contrario, ma mi sembra che il trasferimento di conoscenze e realizzazioni fra il sistema bellico e quello civile sia nettamente a favore del primo, e in maniera crescente nel mondo attuale.

Non vi è dubbio che sono moltissime le innovazioni e le conoscenze nuove nate direttamente in ambito militare, o comunque finanziate sul nascere dai militari, e che successivamente hanno trovato applicazione in ambi-



to civile. Del resto il meccanismo non è difficile da capire: i militari sono alla ricerca pressante di nuovi e più micidiali tipi di armamenti e il settore degli armamenti riveste un ruolo sempre più importante nell'economia degli stati; d'altra parte nell'economia capitalistica in cui viviamo qualsiasi innovazione diviene uno strumento per fare nuovi profitti. È superfluo dilungarsi in esempi, ne basti uno: internet ha avuto un'origine dalla rete ARPANet realizzata nel 1969 per collegare centri di calcolo e terminali di università, laboratori di ricerca ed enti militari, ed è difficile pensare a un'innovazione che estesa in campo civile, e soprattutto commerciale, ha trasformato in modo radicale le nostre vite, i modi di pensare, di agire, di rapportarsi agli altri. Da tempo poi lo "spazio informatico" è diventato un vero campo di battaglia con implicazioni e azioni militari molto concrete, *cyber attacks*, *cyber war*: aspetti rilevantissimi anche per il tema di questo articolo, che però non tratterò anche perché estraneo alle mie competenze.

Vi sono in sostanza due aspetti delle ricerche scientifiche e tecniche applicate ad applicazioni militari. Un primo aspetto che possiamo dire *quantitativo*, cioè le risorse scientifiche umane e materiali dedicate a ricerche espressamente per scopi militari, e uno *qualitativo* che è molto più sottile perché riguarda ricerche il cui interesse, o potenziale, militare non sono affatto immediati. Non sfugge a questa conclusione l'intero sistema della ricerca scientifica, tanto quella "applicata" quanto quella di base, che apre nuove frontiere alla conoscenza. Prenderò spunto da un esempio che può chiarire questo punto, per passare poi nell'ordine ai due aspetti che citavo.

Scienza pura e applicazioni militari

Il trasferimento delle conoscenze e delle competenze non avviene necessariamente in modo diret-

to ma può seguire vie a prima vista insospettabili. Io rammento gli anni '60 del secolo scorso, quando chi aveva questa sensibilità si stupiva che la NATO organizzasse scuole estive sulla fisica delle particelle elementari, poi trovammo la risposta risalendo a una commissione di consiglieri politici e scientifici del governo statunitense che nel 1949 scriveva: "Un forte potenziale intellettuale, non importa in quale paese si trovi, può produrre delle idee creatrici fondamentali importanti per il nostro benessere e la nostra sicurezza nazionale. È chiaro che tali idee dovranno essere integrate rapidamente e continuamente nel nostro pensiero scientifico. [...] La scienza fondamentale è la base di tutte le tecnologie; le idee che escono dai laboratori oggi prenderanno forma domani nelle mani dei tecnici. Qualsiasi programma serio di assistenza tecnica deve ammettere questo fatto. L'aiuto alla scienza fondamentale è giustificato dalla garanzia che la tecnologia del futuro avrà uno stock di idee nuove a cui appoggiarsi"¹.

Ma le ricerche che investono la sfera della sicurezza nazionale sono coperte da segreto. La via per superare questa difficoltà veniva indicata nel 1952 da M. H. D. Smith, membro dell'*Atomic Energy Commission*, il quale si riferiva proprio alla fisica delle particelle elementari: "Ci sono dei domini della ricerca scientifica fondamentale dove la possibilità di un'utilizzazione militare immediata è troppo piccola al confronto della necessità di una ricerca molto spinta e aperta. La fisica delle alte energie è un tale dominio. La conoscenza che acquisiremo a partire dagli studi in questo campo di attività ci può aiutare alla fine a fabbricare armi migliori, ma possiamo stare certi che ciò avverrà in tempi molto lunghi. L'aiuto che riceveremo sarà talmente indiretto da poter essere trasferito nella zona del segreto senza estendere tale zona". Insomma, il fatto che questa fisica non abbia implicazioni militari dirette

1. Il rapporto fu pubblicato nel 1950 con il titolo *Science and foreign affairs* (pubblicazione 3860 del Dipartimento di Stato: le notizie che qui riportiamo furono in parte rese note nel maggio 1953 da un articolo apparso su *La Nouvelle Critique*, *Un plan USA de mainmise sur la science*. Da cui sono tratte anche le citazioni successive.

si traduce in un interesse militare differito. Era emblematico il caso della “Commissione Jason” di scienziati consiglieri del governo USA, che divenne tristemente famosa durante la Guerra del Vietnam (1955-1975) per il progetto della barriera elettronica che divide il Sud dal Nord dell’esercito Viet Cong: fra gli scienziati brillavano i maggiori fisici delle particelle, in particolare teorici, perché? Per le loro capacità di concettualizzare e modellizzare problemi concreti.

Il progetto del grande laboratorio di fisica delle alte energie del CERN a Ginevra fu proposto per la prima volta nel 1950 dal fisico statunitense Rabi che parlava ufficialmente a nome del governo degli Stati Uniti in un congresso dell’UNESCO a Firenze, dove egli sollecitò l’UNESCO a usare i suoi buoni uffici per impiantare un laboratorio di fisica in Europa con mezzi che potessero essere superiori a quelli a disposizione di ogni singola nazione europea e che potessero essere confrontabili con quelli degli USA. Il primo direttore, scelto nel 1954, fu il prof. Felix Bloch dell’Università di Stanford.

L’impegno degli scienziati per la Guerra

Credo che questi esempi siano sufficienti a mostrare come i legami fra la Scienza, la ricerca prettamente scientifica e le attività e le produzioni militari siano più complessi di quanto si possa pensare comunemente.

Storicamente si possono ricordare molti scienziati che hanno messo le proprie conoscenze al servizio dei militari. Senza entrare in dettagli, la memoria va indietro ad Archimede nella difesa di Siracusa. Un caso forse meno conosciuto è quello di Lazare Carnot ufficiale del Genio militare ma anche scienziato eminente che diede contributi rilevanti alla teoria delle macchine (padre di Sadi che diede la prima formulazione del secondo principio della termodinamica, oggi così importante per la crisi climatica): Lazare fu figura di primo piano della Rivoluzione Francese, ristrutturò l’esercito e la strategia militare consentendo di sconfiggere l’attacco coalizzato degli eserciti europei per soffocare la Rivoluzione (venne chiamato l’“organizzatore della vittoria”).

Molto significativo dell’esplicita programmazione scientifica di nuovi armamenti fu lo sviluppo degli aggressivi chimici in Germania, che portò all’attacco con gas tossico ad Ypres del 22 aprile 1915. Lo sviluppo della chimica era stato un asse portante della Seconda Rivoluzione Industriale in Germania, e uno dei principali protagonisti fu Fritz Haber, in quale realizzò nel 1910 dopo anni di ricerche l’impresa a quel tempo difficilissima della “fissazione dell’azoto atmosferico”, in termini semplici la sintesi dell’ammoniaca, che era la base della produzione sia dei fertilizzanti sintetici azotati che degli esplosivi dall’acido nitrico: già questa realizzazione consentì alla Germania di intensificare la produzione di armamenti. La figura di Haber assomiglia a quella di un Dottor Stranamore *ante litteram*: acceso nazionalista coniugava il talento con l’aridità morale. Haber aveva in mente un progetto ambizioso: armi che avessero il potere di traumatizzare il nemico fino a demoralizzarlo e costringerlo alla resa. Alla direzione del *Kaiser Wilhelm Institute*, a Dahlem, Haber sviluppò la produzione di cloro e fosgene. Sotto la sua direzione fu creata nel 1915 la prima unità di *Gastruppe*. Haber sosteneva un curioso “principio umanitario”, che l’arma dei gas avesse un valore tattico, poiché bloccava i movimenti della truppa, abbreviando la guerra stessa e quindi salvando vite umane. Mi sembra degno di nota che quando Haber, dopo l’attacco a Ypres, rientrò a Berlino, quella stessa notte la giovane moglie, Clara Immerwhar – sua ex allieva, prima donna laureata in chimica in Germania, scienziata brillante ma oscurata dal marito – si suicidò con la pistola di ordinanza di Haber. Ma egli non poteva perdere tempo, senza neanche andare al funerale della moglie ripartì per il fronte, dove era previsto un nuovo attacco con i gas.

Comunque nel 1918, appena 3 anni dopo, Haber fu insignito del Premio Nobel per la chimica con una motivazione che riconosceva il “grande beneficio per l’umanità” delle sue scoperte! Ma pure Walter Nernst, Nobel per la Chimica 1920, aveva proposto nel 1914 l’uso di polvere irritante nei proiettili *schrappnel*, che però si dimostrò inefficace. Del resto Alfred Nobel fu il padre della

dinamite, fu anche tormentato da scrupoli di coscienza, comunque si arricchì con i suoi brevetti e lasciò parte delle sue ricchezze per l'istituzione del Premio Nobel. Ad ogni modo dopo l'attacco di Ypres tutti i governi europei svilupparono e usarono aggressivi chimici. È molto significativa la dimensione di questa impresa bellica, alla fine della guerra nella sola Germania erano circa 1.000 i chimici impiegati nelle armi chimiche (150 nel solo *Kaiser Wilhelm Institute* di Haber): la *Big Science* viene di solito ascritta al Progetto Manhattan per la fabbricazione della bomba atomica, ma probabilmente dovrebbe essere anticipata di 20 anni.

Comunque non vi è alcun dubbio che un enorme salto quantitativo e qualitativo avvenne durante la seconda Guerra Mondiale con le ricerche per la realizzazione della bomba nucleare. Nei soli Stati Uniti il "Progetto Manhattan" coinvolse migliaia di scienziati e tecnici a lavorare su un unico progetto, ma le ricerche e gli sforzi riguardarono (anche se in dimensioni minori, che di fatto non ebbero successo) la Gran Bretagna, la Francia, il Canada, la Germania e il Giappone.

Scienza per la guerra: la dimensione del problema

Nel dopoguerra, durante la Guerra Fredda, enormi centri dedicati alla ricerca militare sorsero un po' ovunque. In Unione Sovietica sorsero le "Città Segrete", senza nome e che non comparivano neanche nelle mappe, dove lavoravano (e abitavano) decine di migliaia di scienziati. Negli USA permangono tre enormi centri nazionali (più una miriade di aziende) dedicati espressamente alle armi nucleari, Los Alamos, i Sandia Laboratories, e il Livermore Center.

Io non ho trovato dati sulla porzione degli scienziati che si dedicano a ricerche con fini militari, ma mi sembra che le valutazioni si aggirino su circa la metà della comunità scientifica internazionale che lavora sugli armamenti. In tali valutazioni va tenuto conto che l'impegno può non essere diretto, o esclusivo, e che vi sono ricerche che hanno una relazione indiretta ma rilevante per nuovi armamenti o tecniche militari (come

vedremo). Ma alcuni esempi concreti sono molto significativi.

La *Campagna Internazionale per Abolire le Armi Nucleari* (ICAN) – che nel 2017 ottenne alle Nazioni Unite l'approvazione del Trattato di Proibizione delle Armi Nucleari – ha redatto recentemente un agghiacciante dossier dal titolo significativo *Schools of Mass Destruction: American Universities in the U.S. Nuclear Weapons Complex*, nel quale è documentato come ben 49 università negli Stati Uniti sono complici del Complesso degli armamenti nucleari, in diverse forme, dirette o indirette: dalla gestione diretta, a collaborazioni istituzionali, associazione a programmi di ricerca, o con personale in programmi di sviluppo. È significativo che "La maggior parte delle università tengono segreto a studenti e docenti gran parte del loro lavoro sulle armi nucleari, permettendo la ricerca classificata e non rivelando i dettagli dei contratti col Dipartimento della Difesa e il Dipartimento dell'Energia".

In Gran Bretagna l'organizzazione indipendente *Scientists for Global Responsibility* (SGR, che raccoglie centinaia di scienziati, sociologi, tecnici e professionisti, e pubblica frequentemente rapporti e inchieste) ha pubblicato recentemente un dossier di denuncia dal titolo non meno significativo *Irresponsible Science? How the fossil fuel and arms corporations finance professional engineering and science organisations*, nel quale denuncia e documenta come le aziende dei combustibili fossili e degli armamenti finanziano le organizzazioni professionali di scienziati e ingegneri. Denuncia anche la mancanza di trasparenza di queste organizzazioni, molte delle quali investono somme notevoli in queste aziende senza denunciarlo, promuovono programmi educativi legati ad esse, sponsorizzano convegni ed eventi, ed altre forme di collaborazione.

Scienza e guerra: un confine sempre più labile

Il *dual-use* delle tecnologie viene di solito denunciato per la tecnologia nucleare, ma è comune a molti altri settori, come in parte ho già discusso. Per il nucleare consiste essenzialmente nel pro-

cesso di arricchimento dell'uranio rispetto all'isotopo U-235, che è solo lo 0,7% dell'uranio naturale, e viene portato al 3-4% per l'uso nei reattori di potenza, mentre è arricchito a percentuali molto maggiori per i reattori militari (propulsione navale) e deve superare il 90% per la fabbricazione delle bombe; inoltre il processo di fissione nell'uranio all'interno dei reattori produce plutonio, un elemento che non esiste in natura ed è l'"esplosivo" nucleare ideale. Tutti i paesi che hanno realizzato la bomba atomica hanno seguito una delle due strade, o sono passati attraverso la costruzione di reattori nucleari per estrarre poi il plutonio dal combustibile esausto (così ha fatto ad esempio la Corea del Nord nel 2003-2006, ma negli anni '50-'60 lo aveva fatto Israele), oppure hanno spinto l'arricchimento al livello militare (*highly enriched uranium*): è quello che si cerca di impedire all'Iran.

Nel caso delle tecnologie chimiche ho già discusso il possibile *dual-use*: è stato scritto che "I gas nervini hanno generato i pesticidi" (gli uni non meno devastanti degli altri!). Tristemente famoso è rimasto durante la guerra degli Stati Uniti al Vietnam l'uso del famigerato *Agente Arancio*, una miscela di defolianti, irrorato intensivamente con il duplice scopo di defogliare le aree forestali che potevano nascondere le forze Viet Cong e distruggere i raccolti che potevano nutrire il nemico: l'Agente Arancio fu prodotto sotto contratto per conto dell'esercito statunitense da una ventina delle maggiori industrie chimiche come Dow Chemical, Monsanto, ecc. I terribili effetti dell'Agente Arancio si protraggono per lunghissimo tempo e si ritiene che stia ancora intaccan-

do la salute del popolo vietnamita: si stima che 2.000.000 di persone abbiano sofferto di malattie causate dall'esposizione all'Agente Arancio e che mezzo milione di bambini siano nati con difetti alla nascita a causa dei suoi effetti. Mentre i veterani statunitensi che entrarono in contatto col defoliante e si ammalarono hanno intentato una causa nel 1979 e successivamente hanno ricevuto risarcimenti, gli sforzi del popolo vietnamita per ottenere un risarcimento simile in una causa del 2004 sono stati respinti da un tribunale degli Stati Uniti: è come dire che il fisico dei vietnamiti è molto più forte (e immune) di quello degli statunitensi, ma ovviamente il motivo è politico.

Affronto da ultimo un campo che ha assunto una particolare evidenza in questi anni con l'esplosione della pandemia da SARS-COV-2, le biotecnologie. Con una premessa doverosa a scanso di qualsiasi equivoco: io non mi pronuncio in alcun modo sulle tante ipotesi sull'origine del virus (anche perché non sono un esperto del campo), e non farò nessun riferimento ad esso scoraggiando chiunque vi veda riferimenti.

Gli sviluppi estremi delle biotecnologie rappresentano in modo emblematico la *mercificazione* di aspetti fondamentali della Natura (fin dall'aspetto paradossale della brevettazione dei geni), dove il confine fra utilizzazioni per (presunti) scopi civili e implicazioni pericolose o militari sfuma. Una volta arrivato a manipolare le molecole fondamentali per la regolazione dei viventi, l'Apprendista Stregone, "bio-Stranamore", rischia davvero di innescare trasformazioni che nessuno potrebbe essere in grado di controllare.

"Il vero pericolo oggi è che una guerra biologica globale deflagri senza che si riesca a impedirla, piuttosto che per la deliberata volontà di qualcuno. [È impossibile] distinguere tra usi difensivi e offensivi delle ricerche sui microrganismi e, almeno a partire dagli anni '80, con gli enormi in-



2. Wright S, *Biological Warfare and Disarmament*, Lanham, Rowman & Littlefield, 2002.

teressi economici collegati al nuovo settore delle biotecnologie genetiche”². Per inciso, conclusioni simili, anche se per motivi diversi, si trovano anche per il rischio di una guerra nucleare. Con il fine di evitare gli “errori umani” si è sviluppata la tendenza ad affidare il controllo degli armamenti nucleari ad automatismi: sfortunatamente la decisione presa da una macchina sarà irrevocabile! Un articolo del *Bulletin of the Atomic Scientists* di pochi mesi fa afferma “Se l’intelligenza artificiale controllasse le armi nucleari potremmo essere tutti morti!”. La macchina non è suscettibile di riflessione critica e di ravvedimento, e questo può condurre al disastro. L’enorme problema delle armi autonome è l’errore. La sfida più grande è l’alto tasso di *falsi positivi* nella previsione di eventi rari. Un sistema autonomo progettato per rilevare e reagire contro un’arma nucleare in arrivo, anche se altamente accurato mostrerà spesso falsi positivi. Un singolo cambiamento di pixel è sufficiente per convincere un’IA che un bombardiere *stealth* è un cane. L’attuale IA non è solo fragile, è facile da ingannare

Tornando al biotech, traggio alcune considerazioni da uno scritto di Ernesto Burgio 3. Nel 1972 veniva firmata la Convenzione sulla Proibizione delle Armi Biologiche (BWC), ma “proprio in quegli stessi anni, e proprio nei laboratori americani, si stava realizzando la rivoluzione tecnologica che avrebbe sconvolto il mondo della genetica e fornito agli scienziati gli strumenti necessari a trasformare innocui microrganismi in microscopiche bombe intelligenti, più potenti di qualsiasi altra arma mai costruita [...]. Da quel momento la legge del profitto condizionò pesantemente le strategie di ricerca e le scelte normative. [...] Quando arrivarono i primi brevetti concernenti gli esseri viventi (1980), fu chiaro che fermare la sperimentazione bio-genetica sarebbe stata un’impresa disperata [per] la difficoltà di distinguere tra usi offensivi e difensivi della ricerca

biotecnologica e l’enorme business derivante dalla rivoluzione biotech. Ma anche e soprattutto per la quasi impossibilità di porre un confine netto tra la ricerca biotech finalizzata alla messa a punto di vaccini e di altri importanti presidi terapeutici e le sue applicazioni in campo militare: [...] i controlli in questo campo sarebbero non solo inaccettabili per migliaia di laboratori di ricerca e per le multinazionali che hanno investito miliardi di dollari in questo settore, ma praticamente impossibili, visto che la produzione del ‘nucleare dei poveri’ non richiede particolari strutture (un bioreattore per la costruzione di germi micidiali ha dimensioni estremamente ridotte, al punto che potrebbe essere trasportato in un furgone) [...] vista la facilità con cui è oggi possibile acquistare (per corrispondenza!) microrganismi patogeni e indurre in essi micidiali modifiche. [...] da quando gli esperimenti su virus e altri vettori genetici sono di routine nei laboratori di tutto il mondo, le malattie da nuovi virus sono diventate un problema drammatico ed enormemente sottovalutato”.

La grande “biotecnologa pentita” Mae Wan Ho (1941-2016) ha sottolineato con forza “la pericolosità di simili manipolazioni, oggi di routine in migliaia di laboratori, in grado di creare in pochi minuti milioni di particelle virali mai esistite nei quattro miliardi di anni di evoluzione che ci hanno preceduto e in grado di ‘saltare’ da un ospite all’altro. [...] Sul banco degli imputati è l’ingegneria genetica in quanto ‘tecnologia finalizzata a trasferire orizzontalmente i geni tra specie non destinate a incrociarsi tra loro’. Il che equivale a dire che *i pericoli per l’intera biosfera, non derivano da un cattivo uso del biotech, e cioè dal bioterrorismo e dalle guerre biologiche, ma da una tecnologia che infrange deliberatamente le barriere specie-specifiche che la Natura ha costruito a difesa delle singole specie viventi*” [corsivo mio].

La Scienza attuale rischia di manomettere in maniera irrimediabile, con trasformazioni artifi-

3. Burgio E, *Bioterrorismo e Impero Biotech: armi biologiche e guerra (infinita) al Pianeta*, Mosaico di Pace, 15 luglio 2010.

ciali, la “*genosfera*”, il patrimonio genetico che si è formato in 4 miliardi di anni di evoluzione biologica naturale! In definitiva, stiamo arrivando all’ultimo stadio, assolutamente incontrollabile, di un progetto esasperatamente *scienziata*, con il quale possiamo arrivare a perdere del tutto il controllo su quei processi naturali che il progetto si prefiggeva di controllare e manipolare a piacimento. “*Nessuno può oggi affermare con sicurezza che gli effetti e i prodotti delle biotecnologie con finalità sulla carta ‘buone’ non si rivelino, specie nel medio-lungo periodo, altrettanto pericolose di quelle con finalità ‘cattive’* [corsi-vo mio]. [...] Le *Life Science Industries*, la *Big Pharma* e le grandi *corporations* hanno investito miliardi di dollari nel biotech, nella convinzione che gli scienziati abbiano ormai le conoscenze, gli strumenti e i mezzi necessari a trasformare la biosfera e la società mondiale a propria immagine e somiglianza. Il programma era ed è quello di mettere le mani sul codice stesso della vita, per correggerne i ‘difetti’ e giungere ad una nuova creazione ‘perfetta’, cioè adattata alle nostre o meglio alle loro esigenze: [...] un vero e proprio ‘delirio di onnipotenza’... da progetto di bio-dominio globale, il progetto dei *biotech-scientists* e delle *corporations* [...] rischia di trasformarsi in una *global-bio-war* combattuta da un nemico infinitamente sfuggente, elusivo, pervasivo [...] un esercito di organismi geneticamente modificati che, messo a punto in migliaia di laboratori, distribuito in ospedali, farmacie, supermercati e mercati dei sei continenti, sta colonizzando il pianeta”. ●



**Aa. Vv., *Scienziati e guerra fredda: tra collaborazione e diritti umani*
a cura di Elisabetta Bini e Elisabetta Vezzosi
Roma, Viella 2020**



I saggi raccolti nel volume affrontano alcune grandi questioni. In primo luogo, il rapporto tra scienziati e politica e il ruolo degli scienziati – in diversi contesti e momenti storici – nel promuovere una vera e propria *science diplomacy*, a volte intrecciata e allineata con la politica estera dei singoli governi, a volte invece su posizioni autonome in contrasto con le scelte governative. Nel complesso, emerge una crescente rilevanza globale della scienza come bene pubblico. Un secondo tema affrontato è quello del rapporto tra dimensione nazionale, internazionale e transnazionale della scienza. In molti casi le collaborazioni si sono realizzate indipendentemente dalle divisioni ideologiche e politiche degli Stati. Oltre al contesto del conflitto bipolare della guerra fredda, risulta importante il ruolo della collaborazioni promosse a livello europeo e tra paesi del Terzo Mondo.

La terza parte del volume dedica infine una particolare attenzione al tema dei diritti umani. La mobilitazione a livello internazionale degli scienziati ebbe una grande importanza nell’indurre progressivamente i governi americano e sovietico a riconoscere la centralità del tema dei diritti degli scienziati, oltre ad esercitare un’influenza non secondaria sulla riduzione degli arsenali nucleari.

Nell’affrontare queste diverse problematiche emergono importanti temi comuni, quali la responsabilità degli scienziati; il rapporto tra scienziati, opinione pubblica e public engagement; il rapporto tra scienza, tecnologia e sviluppo.

Attraverso lo studio di singoli casi, il volume ricostruisce percorsi biografici e storie di network e istituzioni, mettendo spesso in discussione le periodizzazioni classiche della guerra fredda.

Maria Turchetto

Ecologia di guerra

Giambattista Bello

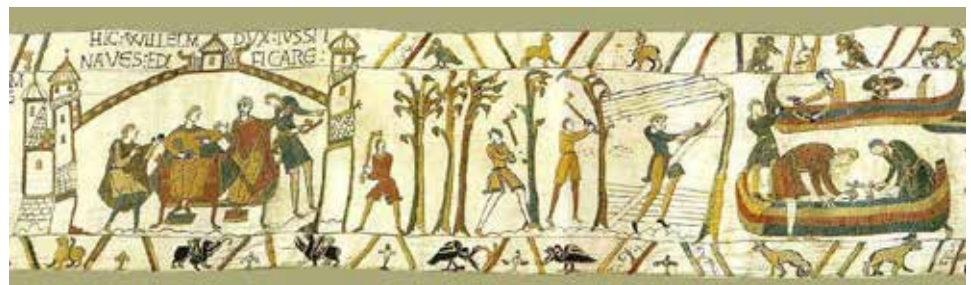
War conflicts cause profound damage to the environment, which man too often does not take into account, but which leave deep scars on the Earth. In a brief excursus, starting from the taking and destruction of the biblical city of Shechem up to the modern wars of the past decades, some of the damages caused by the armed struggles are narrated. Even the preparation for war alone has in too many cases caused serious alterations to natural ecosystems, such as the destruction of entire forests to build large war fleets in the past or the nuclear irradiation of sites not too far from human settlements to test hydrogen bombs. Keywords: *War, Environment damage, Ecosystems*

Sui campi di battaglia di Verdun, in Francia, sono tuttora riconoscibili i segni della prima guerra mondiale. A distanza di oltre un secolo, l'erba stenta ancora a crescere sul fondo dei crateri scavati dalle cannonate tedesche. Pochi decenni dopo, durante la seconda guerra mondiale, la storia si ripeté: un po' in tutta Europa, Italia compresa, molti boschi furono deliberatamente o accidentalmente inceneriti nel corso di operazioni belliche.

Gli attacchi alla natura, quale effetto collaterale dei conflitti fra uomini, non sono un fatto esclusivo dell'oggi. La Bibbia (Giudici 9:45) narra di Abimelech, figlio di Gedeone, che dopo aver preso la città di Sichem "uccise tutti gli abitanti e la distrusse cospargendola di sale". Questo è il primo esempio storico di aggressione a un territorio con agenti chimici.

Sappiamo pure che la preparazione di una guerra condotta per mare era preceduta dal taglio di intere foreste per la costruzione di navi. È quel che avvenne, ad esempio, in Normandia nel 1066, allorché Guglielmo il Bastardo, rinominato il Conquistatore dopo la vittoriosa battaglia di Hastings, si preparò all'invasione dell'Inghilterra. Anche la Repubblica di Venezia, al culmine della sua potenza (sec. XIV-XV), fece radere al suolo ingenti estensioni di bosco per farne legname per navi da guerra. Quindi, non solo la guerra, ma anche la sua preparazione può avere un forte impatto negativo sull'ambiente.

Volgendo sempre lo sguardo a eventi del passato, oramai sedimentati nella storia, ma comunque più vicini a noi, i danni più gravi si sono avuti per la sperimentazione di armi nucleari. Sessantasei devastanti bombe atomiche statunitensi esplose sugli atolli di Bikini e di Enewetok (Oceano Pacifico) fra il 1946 e il 1958; dodici ordigni nucleari esplosi dai britannici nelle



Un frammento dell'*Arazzo della regina Matilde* (Arazzo di Bayeux), in cui Guglielmo, in previsione dell'invasione dell'Inghilterra, ordina la costruzione di una flotta e i carpentieri costruiscono le navi.



Il test nucleare Small Boy in Nevada (USA) del 14 luglio 1962, alla presenza di numerosi spettatori (Wikimedia Commons).

regioni centrali e nord-occidentali dell’Austria nel 1952-57; altre 34 bombe fatte scoppiare sulla Christmas Island (Pacifico) da USA e Gran Bretagna nel periodo 1957-62; 670 esperimenti nucleari condotti nel deserto del Nevada (USA) a partire dal 1953; la Francia, dal 1966 in poi, ha effettuato 132 test nel Pacifico meridionale, sulle isole di Mururoa e di Fangatuafoa. Un numero imprecisato di bombe all’idrogeno è stato fatto esplodere sui propri territori da URSS, Cina e India. I danni vanno dalla distruzione fisica di interi ambienti, incluse le loro associazioni florofaunistiche, alla contaminazione radioattiva del suolo e della acqua per migliaia di anni; senza contare il grave problema dell’eliminazione delle scorie ad alto livello di radioattività. A margine, vanno menzionate le centinaia, ma forse migliaia, di persone morte a distanza di tempo, inconsapevoli vittime di tali esplosioni sperimentali. Il più illustre di loro è l’attore John Wayne, ultimo e più fortunato (l’unico a morire in età anziana, a 72

anni) membro della troupe del film *The Conqueror*, girato nel 1954 a St. George (Utah) a circa 200 km di distanza dal sito del Nevada sede degli esperimenti, anche lui morto per cancro come tutti gli altri membri della troupe, attori, regista, costumisti, cameramen, macchinisti...¹.

I disastri ecologici provocati nei decenni passati, nel corso di conflitti armati, sono stati di una portata tale da far nascere una nuova scienza, al confine fra geografia ed ecologia, che si occupa degli effetti devastanti degli eventi bellici sull’ambiente e che potremmo definire ecologia di guerra². Il primo caso studiato in dettaglio è stato quello delle foreste di mangrovie del Vietnam. Durante quella guerra, l’esercito statunitense irrorò sistematicamente, tramite aerei speciali, vaste estensioni di foreste con 80 milioni di litri di erbicidi, fra cui il famigerato *Agent Orange*. Lo scopo dichiarato era di distruggere la vegetazione che dava ricetto ai guerriglieri vietcong³. Insieme alle mangrovie, piante semiacquatiche, scomparve

1. Anonimo (2019) *La morte di John Wayne da vittima della guerra fredda*, Atlante, Treccani: https://www.treccani.it/magazine/atlante/cultura/La_morte_

di John Wayne da vittima della Guerra fredda.html.

2. Charbonnier P (2022) *La naissance de l’écologie de guerre*, Le Grand Continent:

<https://legrandcontinent.eu/fr/2022/03/18/la-naissance-de-lecologie-de-guerre/>.

<https://www.history.com/topics/vietnam-war/agent-orange-1>.

3. History.com Editors (2011) *Agent Orange*, History:

la fauna a esse associata ed importanti stock di pesci e di crostacei; inoltre il suolo, non più protetto dalla copertura vegetale, fu eroso sia lungo il fronte marino e lungo il dedalo di canali, sia in superficie dal dilavamento pluviale, fino a perdere uno spessore di 10 cm di terreno fertile. Un disastro di proporzioni tali da far coniare un nuovo vocabolo: *ecocidio*, cioè distruzione dell'ambiente per scopi militari.

Altri delitti contro l'ambiente furono registrati sul suolo del Nicaragua, insanguinato da lustrati di guerriglia rivoluzionaria (anni Settanta e Ottanta). Foreste pluviali ed altri siti di estremo valore naturalistico furono distrutti sui due fronti, sia nel corso di esercitazioni che di operazioni militari. Un episodio di particolare gravità sotto il profilo conservazionista fu il taglio delle piantagioni di caffè delle colline sovrastanti la costa pacifica, da parte del governo sandinista. Il suolo non più trattenuto dalle piante, franò a mare con le piogge, distruggendo le spiagge di nidificazione della tartaruga di Kemp, *Lepidochelys kempii*, specie tuttora gravemente minacciata di estinzione.

Nel Vicino Oriente, anche i mitici cedri del Libano sono stati in pericolo di scomparire, tagliati da militari e civili a corto di combustibile durante le lotte tra fazioni militari che hanno impoverito il Paese. Nella lista nera della storia degli ecocidi, va pure segnalato l'attacco con gas nervini portato nel 1988 dall'esercito iracheno contro il Kurdistan. Oltre allo sterminio di guerriglieri e civili curdi, si determinò una grave contaminazione della vegetazione di cui non si parlò affatto. E sempre l'Iraq fu protagonista negativo di un disastro ecologico di grosse proporzioni: il versamento il mare di milioni di litri di petrolio kuwaitiano; disastro che fece passare in secondo piano le preoccupazioni per il rilascio dell'atmosfera dei gas di combustione dei mezzi militari e dei pozzi di petrolio incendiati; disastro che conquistò il primo posto nella classifica degli incidenti petroliferi, soffiandolo via con grande margine di vantaggio a quello memorabile della *Exxon Valdez* in Alaska del 1989 e forse superato solo dal disastro del 2010 della *Deepwater Horizon*, la piattaforma petrolifera del Golfo del Messico.

Con una differenza essenziale: l'enorme chiazza di greggio, ampia un centinaio di chilometri quadrati, alla deriva lungo le coste della penisola arabica, non fu frutto di un incidente, bensì dell'azione deliberata di menti folli, che tenevano in spregio anche Madre Natura.

Quali sono i danni all'ambiente provocati dall'aggressione russa all'Ucraina? Troppo presto per fare un bilancio perché la guerra è ancora in corso. E pure perché noi uomini conteggiamo i danni bellici in termini di vite umane (giustamente); di danni alle costruzioni umane, case, fabbriche, infrastrutture; di danni alla produzione industriale e agricola e, solo di rado ci soffermiamo sui danni all'ambiente, se non hanno un riflesso immediato sulla vita dell'uomo. D'altronde, la stessa convenzione di Ginevra non prevede norme specifiche per il controllo degli ecocidi. Comunque, sarebbero esse osservate quando più ovvie norme relative al divieto dell'uso di certe armi e al trattamento dei civili e dei prigionieri sono già ampiamente disattese? ●



Prima guerra mondiale, Belgio
da www.astraverde.it/guerra-ed-ecologia/

ritratto di famiglia

Porpitidae

Angelo Vazzana



Fig. 1. Esemplare mediterraneo di *Velella velella* (foto dell'autore) .

In questa rubrica, presentiamo un gruppo familiare zoologico per volta, quale esemplificazione della varietà animale. La famiglia è un'unità tassonomica contenente un insieme di specie aventi in comune determinate caratteristiche, frutto dell'evoluzione, che testimoniano l'origine da un unico progenitore. Questo "ritratto" è dedicato a Porpitidae, una famiglia di Cnidari Idrozoi che contiene due soli generi: *Porpita* e *Velella*, entrambi presenti nel Mediterraneo.

Premessa

Fra gli Invertebrati marini del Phylum Cnidaria, sono compresi gli Idrozoi (classe Hydrozoa) e tra questi gli Idroidolini (sottoclasse Hydroidolina) con sifonofori e velelle. Queste ultime appartengono alla famiglia Porpitidae, che comprende 150 specie olopelagiche, tutte viventi vicino alla superficie marina.

Un carattere distintivo degli Idrozoi è la forte tendenza verso la formazione di colonie complesse e spesso polimorfiche. Di solito, le colonie di Idrozoi sono rappresentate dalle fasi bentoniche, gli idroidi¹. I "sifonofori"², sotto questo aspetto, sono eccezionali, in quanto formano colonie altamente polimorfiche, organismi planctonici che possono essere chiaramente distinguibili dalle fasi medusoidi, libere e natanti degli altri idrozoi³. Si tratta di colonie di zoidi altamente specializzati e con una spiccata differenziazione morfo-funzionale: i gonozoidi sono i polipi della colonia di idrozoi deputati

1. De Filippi F, *Sopra due Idrozoi del Mediterraneo*. Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino, Scienze fisiche e matematiche, ser. 2, 23: 375-385, 1866.

2. L'ordine Siphonophora è stato di recente rinominato Siphonophorae e ristretto a sole poche famiglie. Qui chiamiamo "sifonofori" tutti le specie appartenenti al vecchio ordine Siphonopho-

ra, in quanto condividono determinate caratteristiche morfologiche ed ecologiche.

3. Gravili C, Boero F, Licandro P, *Hydrozoa*, in Reolini G (a cura di) *Checklist*

della flora e della fauna dei mari italiani. Biologia Marina Mediterranea, 15 (suppl. 1): 71-91, 2008.

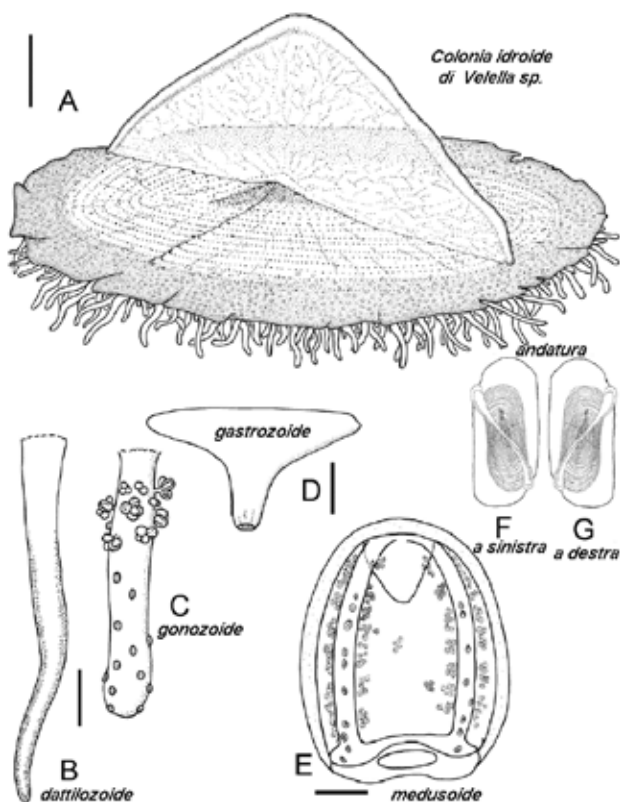


Fig. 2. Schema di *Veleva veleva*.

alla riproduzione, la quale avviene attraverso la formazione di gemme medusoidi. Per tale motivo questi organismi non presentano né bocca (la funzione nutritiva è svolta dai gastrozoidi) né veri tentacoli (quelli che sembrano tali sono in realtà catene di gastrozoidi o altri zoidi) (Fig. 2). I sifonofori sono principalmente caratterizzati da nectofori simmetrici o asimmetrici, a campana, oppure cilindrici o sferici. Questi organismi gelatinosi sono carnivori molto efficienti, che possono raggiungere un'elevata abbondanza in condizioni ambientali favorevoli. Molti sifonofori compiono migrazioni giornaliere o stagionali tra le acque epipelagiche.

I complessi cicli vitali degli Hydrozoa hanno causato molti problemi tassonomici. La ricostru-

4. Boero F, Bouillon J, Piraino S, Schmid V, *Diversity of hydromedusan life cycles: ecological implications and evolutionary patterns*, in den Hartog JC, van Ofwe-

gwn LP, van der Spoel S (eds) *Proceedings of the 6th International Conference on Coelenterate Biology*. The Leeuwenhorst, Noordwijkerhout, The Netherlands

zione dei loro cicli vitali è un prerequisito per una classificazione unificata⁴.

La famiglia Porpitiidae contiene i due generi *Porpita* Lamarck, 1801 e *Veleva* Lamarck, 1801, ciascuna delle quali rappresentata nel Mediterraneo da una specie, rispettivamente: *Porpita porpita* (Linnaeus, 1758) e *Veleva veleva* (Linnaeus, 1758)⁵.

Porpita porpita

Questo è un organismo marino, detto anche bottone blu, costituito da una colonia di idroidi che si trova nelle acque più calde, in tanti mari nonché nel Mar Mediterraneo (Fig. 3). Può crescere fino a 30 mm di diametro, vive sulla superficie del mare ed è costituito da due parti principali: il galleggiante e la colonia idroide. Ha filamenti tentacolari con numerose ramificazioni, ciascuna delle protuberanze è formata da cellule lievemente urticanti, chiamate nematocisti, terminali all'estremità distale. La bocca sottostante centrale è circondata da un anello di gonozoidi e dattilozoi-

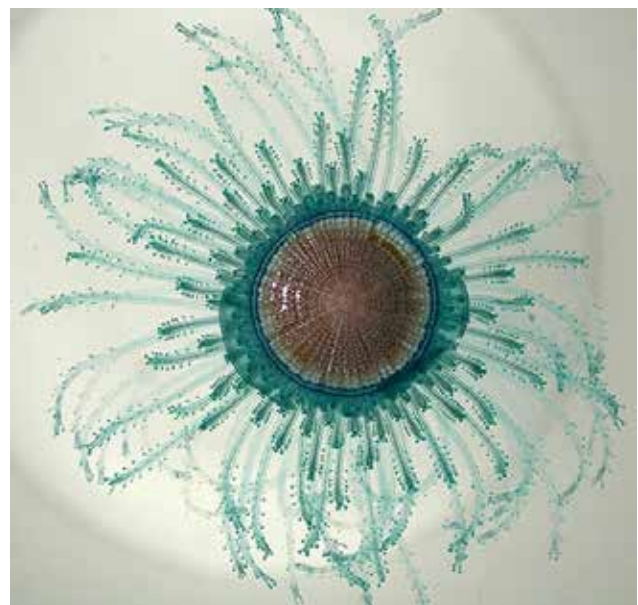


Fig. 3. *Porpita porpita*; esemplare di 30 mm di diametro (da https://en.wikipedia.org/Portpita_porpita).

16-21 July 1995: 53-62, 1997.

5. Gravili et al., 2008, cit. // Schuchert P, *World Hydrozoa Database*. Porpitiidae

Goldfuss, 1818. World Register of Marine Species: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=20790>.

di. I tentacoli si trovano solo sui dattilozoidi, situati più lontani dalla bocca, verso la parte esterna della colonia idroide⁶ (Fig. 4).

Porpita porpita fa parte della rete alimentare neustonica, in cui rientrano gli organismi che abitano gli strati più superficiali dei mari. Si sposta quindi con le correnti marine, col vento e il moto ondoso. A differenza di *Veleva* spp. che preferiscono una dieta da saprofita, caccia crostacei e pesci neonati. Compete con altri piccoli pelagici per il cibo e si nutre principalmente di copepodi e larve di crostacei. Un improvviso aumento dell'abbondanza di *Porpita porpita* fu osservato anche in uno studio delle sue popolazioni nei mari Ionio e Adriatico, forse anche a causa dell'aumento delle temperature marine⁷ (Bianchi C. N., 2007).

Veleva veleva

Questa specie venne descritta col nome di *Medusa veleva* da Linneo su esemplari provenienti dal Mar Mediterraneo⁸. Il nome comune in Calabria è "barchetta di San Pietro" ma è conosciuta anche con il nome di "barchetta di San Giovanni". Infatti, *Veleva veleva* ha la forma generale di una piccola barchetta ovale che misura in fase adulta 5-7 cm ed è di colore blu intenso (Fig. 1). Vive in superficie e per questo è provvista di una lamina eretta a forma di vela isoscele, in posizione sagittale, rispetto alla lamina orizzontale ovale detta zattera. Guardando dall'alto, si nota che il profilo verticale della vela si sviluppa a forma di "S" stretta e allungata. Infatti, la parte libera della vela si distende in direzione angolata rispetto all'asse della zattera, così da terminare a una certa distanza dalle estremità del suo asse di impianto. Questo carattere evolutivo risponde all'esigenza della colonia di tenere un'andatura contro vento e mantenersi sempre al largo. Si hanno così due forme di *Veleva*: con vela destrorsa e vela sinistrorsa a seconda se la vela vista in lunghezza ha

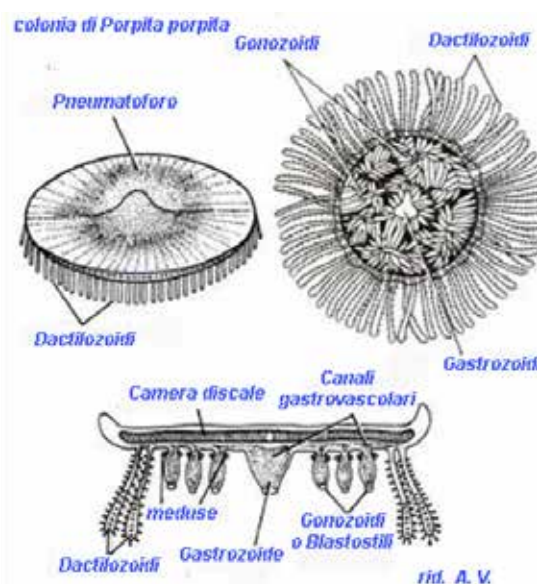


Fig. 4. Schema di *Porpita porpita*.

una distensione da sn-centro-dx (sinistrorsa) o da dx-centro-sn (destrorsa). Nel Mar Mediterraneo, *Veleva veleva* ha la vela sinistrorsa mentre negli altri mari o oceani può avere anche vela destrorsa se la costa del continente che bagna quei mari è nella parte occidentale. Per viaggiare in galleggiamento, questi sifonofori hanno, tra le due lamine, alcune cellette di aria e gli organi interni. Al di sotto della vela verticale, costituita dalla forma medusoide, sono presenti vari zoidi che svolgono diverse funzioni: gastrozoidi con funzioni nutritive, dattilozoidi con funzioni difensive e gonozoidi con funzioni riproduttive. Tutti questi microorganismi pendono dalla lamina orizzontale.

Il ciclo riproduttivo si sviluppa nella colonna d'acqua a partire da due individui di forma medusoide a sessi separati. Essi danno vita ad una forma larvale detta *conaria* che, sviluppandosi, matura nelle forme giovanili della colonia in galleggiamento⁹ (Fig. 5).

La veleva, per la sua alimentazione, intercetta piccoli organismi animali presenti nel plancton

6. Boero F, *Osservazioni ecologiche sugli idroidi della fascia a mitili della Riviera Ligure di Levante (1)*. Cahiers de Biologie Marine, 22: 107-117, 1981.

7. Bianchi CN, *Problemi di biodiversità per il prossimo Mar Mediterraneo tropicale*. Idrobiologia, 580: 7-21, 2007.

8. Linnaeus C, *Systema Naturae, Editio decima*. Holmiae [Stoccolma], Laurentius Salvius, 1758.

9. Boero et al., 1997, cit.

più vicino alla superficie che i dattilozoidi, che circondano la zattera e da essa pendono, convogliano verso l'apertura del gastrozoo centrale.

Tutti gli zoidi e la cresta della vela contengono quel particolare pigmento blu intenso di astaxantina che ha una funzione antiossidante quando la velevella subisce criticità di sopravvivenza come massima insolazione, vento intenso o elevata concentrazione salina che tendono a disidratare la parte emergente e superficiale della colonia. A loro volta, le velevelle sono preda di *Janthina pallida* (si veda oltre); l'intera colonia è gradita anche da pesci come la boga, *Boops boops*, l'occhiatea, *Oblada melanura*, e altri sparidi.

Velevella velevella ha un'interazione vitale con i gasteropodi pelagici del genere *Janthina* e, in Mediterraneo, in esclusiva con la specie *Janthina pallida*, con la quale ha sincronizzato il ciclo riproduttivo, mentre le altre specie di questo genere che viaggiano in superficie singolarmente o a gruppi con una zattera di bolle, hanno un periodo riproduttivo diverso (Fig. 6).

Quindi, *Janthina pallida* è un particolare mollusco gasteropode pelagico che vive in mare aperto associato solitamente a banchi di velevelle delle quali si nutre o a cui sottrae parte dell'alimentazione vivendo a contatto stretto sotto la sua zattera (forma di parassitismo/commensalismo). In particolare questa specie fa parte del "pleuston": conduce cioè vita pelagica galleggiando sulla superficie del mare, facendosi trasportare passivamente dalle correnti e dal moto ondoso. Durante la navigazione in mare aperto, *Janthina pallida* mantiene il nicchio capovolto verso il basso, con lo stoma rivolto verso l'alto. Le jantine, diventate adulte e più pesanti, possono condurre vita pelagica di superficie, sempre legata al galleggiamento ma indipendentemente dalle velevelle, mediante una zattera di sole bolle. *Janthina pallida* non fa parte del necton e la sua riproduzione si compie esclusivamente sulla superficie marina insieme



Fig. 5. Ciclo riproduttivo di *Velevella velevella*.

alla colonia di *Velevella velevella*. Per mantenere questa unione in superficie, *Janthina pallida*, come detto, produce a sua volta una zattera di bolle d'aria che aumenta la galleggiabilità del sistema "barchetta". Nel periodo della maturità sessuale, il gasteropode emette delle capsule ovigere rosse che aggancia alla propria zattera di bolle (Fig. 7). Solo in questo momento il mollusco con la sua zattera si può separare dalla velevella, ma non si allontana di molto perché le larve allo stadio di veliger troveranno sotto la velevella numerosi altri stadi giovanili della propria specie (*Janthina pal-*



Fig. 6. Associazione *Velevella velevella*-*Janthina pallida* (foto dell'autore).



Fig. 7. *Janthina pallida* con capsule ovigere e bolle d'aria (foto dell'autore).

lida) di sesso maschile (Fig. 8). Infatti, contrariamente a molte altre specie simili, in questa i nuovi giovanili sono tutti di sesso maschile e solo ad un certo punto della loro vita, acquisendo maggiori dimensioni, possono diventare femmine. Si tratta quindi di organismi ermafroditi proterandrici.

Adattamento e selezione evolutiva

La barchetta di San Pietro veleggia molto meglio di un'imbarcazione a vela, considerando che trasporta organismi che effettuano l'intero ciclo vitale sulla superficie del mare aperto, muovendosi in spirali concentriche lontano dalle coste. Solo il vento e le maree possono fare spiaggiare questi organismi marini e questa è la fine della loro vita. Nelle velelle, oltre alla forma della vela, sinistrorsa o destrorsa, possiamo anche osservare una simmetria bilaterale o radiale delle due metà di questa vela che ha un albero verticale in comune al baricentro della zattera ellissoidale. Ciò permette alla barchetta, se venisse temporaneamente spostata o girata dalla sua rotta per un colpo d'onda o di vento, di rimettersi in rotta controvento girata di 180°. In presenza di brezze giornaliere vicino alla costa, la barchetta non deve girarsi ma solamente alternare l'andatura largo-costa e viceversa. Se si considerassero le andature adottate dalle imbarcazioni a vela, si noterebbe come ci sia una sola modalità di rotta contro vento che è

quella denominata di "bolina" con due variabili: "bolina stretta" e "bolina larga". Queste dipendono dall'angolazione della vela rispetto alla prua o da dove arriva il vento da rimontare. L'angolazione varia nelle velelle dai 55° ai 15° circa. La vela è più ampiamente angolata vicino al baricentro per assumere una concavità centrale e marginalmente rastremarsi al bordo della zattera distante dalla prua della velella, tale da mantenere con questa la minima angolazione. La direzione o andatura effettuata si ha scomponendo le spinte risultanti dalle forze del vento che agiscono sulla parte concava della vela. Si suppone, inoltre, che la vela biologica sia suscettibile di "sentire" la forza del vento (se asciutta con il caldo, più idratata in giornate umide o per azione dell'astaxantina) che fa irrigidire a "S" più o meno stretta la vela, adattandola alle necessità di andare contro vento e quindi lontano dalle coste. Se pur in modo lento, con questa andatura si ha un movimento poco deviante superficialmente a spirale larga per due ragioni vitali: esplorare tutte le aree circostanti per trovare l'alimentazione e rimanere costantemente al largo¹⁰.

Tra i fenomeni di biologia marina che si manifestano nell'Area dello Stretto di Messina, vi è anche il regolare e annuale spiaggiamento di *Velevella velevella* in associazione a *Janthina pallida*.



Fig. 8. Convivenza, sotto uno stesso individuo di velella, di jantine ermafroditiche proterandriche: esemplari giovani = maschi; grandi = femmine (foto dell'autore).

10. Evans F, *Velevella velevella* server, 56: 196-200, 1986. (L.), the "by-the-wind-sailor", in the North Pacific Ocean in 1985. Marine Ob-

Le continue ricerche effettuate negli anni precedenti sulla biodiversità marina nell'Area dello Stretto¹¹, e lo studio di questi spiaggiamenti dal 2014 ai nostri giorni, ha permesso di osservare meglio la biologia e l'interazione tra le velelle e *Janthina pallida*. Infatti, benché simili spiaggiamenti si verificano anche in numerose località costiere di tutto il Mar Mediterraneo¹². Nell'Area dello Stretto, versante costa calabra, questi spiaggiamenti avvengono puntualmente in un ben preciso periodo dell'anno e con una quantità enorme di individui lungo la fascia costiera che va da nord dell'Area, dalla Spiaggia degli Abissi di Cannitello-Pezzo (Fig. 9) verso sud da Reggio Calabria a Punta Pellaro. Questo periodo corrisponde alla settimana intorno al Plenilunio della prima metà di aprile di ogni anno (la *Veleva Day* del 2020 è avvenuta l'8 aprile) e in questi giorni si verificano la maggiore quantità delle specie in arrivo sulle spiagge dell'Area dello Stretto¹³. Nel periodo della seconda metà dal mese di marzo arrivano ripetutamente nel Mar Tirreno Meridionale i rinforzi dei venti che spirano dal IV quadrante (ponente e maestrale), che per il moto ondoso prodotto, tendono a concentrare tutto ciò



Fig. 9. Area dello Stretto: Punta Pezzo – Cannitello (Calabria).

che è in galleggiamento nel Mar Tirreno verso l'area più meridionale, comprese le associazioni *Veleva-Janthina* che solitamente rimangono al largo, nella area tirrenica centrale. Nei giorni senza luna di novilunio (*Abyss Day*) e nel successivo plenilunio (*Veleva Day*), tra il mese di marzo e quello di aprile, per i fenomeni astrali noti, si sviluppano anche le più alte differenze di maree tra il Mar Tirreno e il Mar Jonio e, di conseguenza, le massime velocità di scorrimento delle correnti marine nello Stretto di Messina. Nella fase di massima corrente verso sud di riflusso, o “scendente”, la moltitudine di *Veleva-Janthina* viene trascinata dall'area marina intorno alle isole Eolie e al Mar Tirreno Meridionale verso l'ingresso nord dello Stretto. Queste fasi di scorrimento durano per due periodi di sei ore nell'arco di una giornata e concentrano, ripetutamente e nei giorni seguenti, grandi quantità di queste specie galleggianti. Lo scorrimento delle acque lungo la fascia costiera, favorito dal senso della corrente, dai venti e dal moto ondoso, porta sulla Spiaggia degli Abissi di Pezzo-Cannitello una moltitudine di questi organismi marini coprendo questa stretta fascia costiera che, per il colore blu

intenso di queste colonie, è stata denominata “Spiaggia Blu”. Lo spiaggiamento va oltre verso sud della costa calabra dell'Area dello Stretto, sempre favorito dalle correnti di scendente e dal vento di canale che ha la direzione da NNO verso SSE, almeno sino alla spiaggia della località di Pellaro a sud di Reggio Calabria dove, essendo la costa di fronte alla direzione del vento, si ha una ulteriore massiva presenza di *Veleva-Janthina*. Il fenomeno dello spiaggiamento del complesso *Ja-*

11. Vazzana A, *Biodiversità marina lungo le coste della provincia di Reggio Calabria*. Reggio Calabria, Laruffa, 2011.

12. Boero F, Belmonte G, Bracale R, Frascchetti S, Piraino S, Zampardi S, *A salpbloom (Tunicata, Thaliacea) along the Apulian coast*

and in the Otranto Channel between March-May 2013. F1000Research, 2: 181, 2013.

13. Vazzana A, *Fenomeni Naturali e Miti nell'Area dello Stretto-Skylla e Cariddi negli Autori reggini dell'Odissea*. Roma, Gangemi, 2016.

nthina-Veella è in aumento nel Mar Mediterraneo, anche con episodi particolarmente abbondanti. Si è ipotizzato che una causa potrebbe essere il riscaldamento globale dei mari. Per quanto riguarda il Mar Tirreno meridionale, tale riscaldamento può essere aumentato anche dalla presenza, in questa area marina, della cosiddetta “corona di fuoco”, caratterizzata da una catena ad arco di più di 40 vulcani emersi e sommersi. Inoltre, dai fenomeni vulcanici che si verificano nelle Isole Eolie si versa in mare molta pietra pomice, a bassa densità e quindi galleggiante, che viene trasportata da venti come il maestrale verso lo Stretto. Questi ammassi di pomice galleggiante si uniscono con le barchette *Veella-Janthina*, che le forti correnti di scendente finiscono per fare spiaggiare nell’area dello Stretto, determinando un triplice fenomeno unico nel suo genere¹⁴.

Notizie su questo fenomeno sono presenti nell’*Odissea*¹⁵ e certamente risalgono a diversi secoli a.C.¹⁶. Infatti, nel XII libro di quest’opera viene descritto l’attraversamento da parte di Odisseo del mare dell’Area dello Stretto, tra la mostruosità di Skylla e le vorticosità delle correnti della Cariddi, delle Sirene alate (oggi tra Scilla e Punta Pezzo-Cannitello).

Il Fenomeno dello spiaggiamento di *Veella-Janthina* e i ciottoli di pomice nell’*Odissea*

Nel verso 45, XII libro, dell’*Odissea*, così si racconta:

“...le Sirene adagate sul prato: intorno è un gran mucchio di ossa di uomini putridi, con la pelle che si raggrinza”¹⁷.

Interpretando l’allegoria di questa scena, si identifica che vicino al sito dove si sentono le Sirene Alate attiguo alla Cariddi (la Spiaggia di Cannitello, il suono delle forti correnti e dei vortici di Punta Pezzo) “è un gran mucchio di ossa di uomini” = il mucchio spiaggiato dei ciottoli porosi di pietra pomice simile alle ossa umane nella parte trabecolare o midollare interna; “putridi” = l’odore putrescente di *Veella* e *Janthina* spiaggiate; “con la pelle che si raggrinza” = le sole lamine rimaste, cioè il sostegno alla zattera e vela delle velelle secche, trasparenti e contorte.

Questo collettivo e particolare spiaggiamento – fenomeno che può ripetersi a distanza di 5-6 anni – è stato documentato durante il *Veella Day* del 5 aprile 2016¹⁸ (Fig. 10). ●



Fig. 10. Veella Day, 5 aprile 2016. Da sinistra: Spiaggia Blu con quantità enormi di *Veella veella* spiaggiata; Spiaggia Bianca, con molti esemplari di *Janthina pallida*; spiaggia con ciottoli di pomice e lamine di veella disidratate (foto dell'autore).

14. Vazzana, 2016, cit.

15. Vazzana A, *Odissea dell'ODISSEA / ODYSSEY's odyssey* (testo bilingue). Roma, Gangemi, 2018.

16. Una prima versione fram-

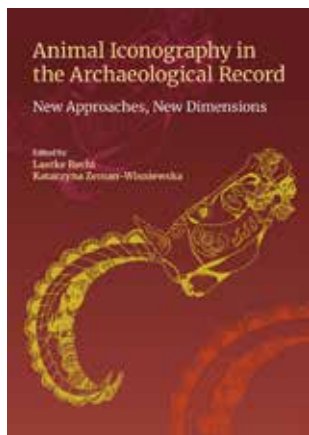
mentaria dell’*Odissea* risale al 527 a.C., mentre la prima completa al 290 a.C.; comunque entrambe rivengono da tradizione orale precedente di diversi secoli la prima stesura frammentaria.

17. Omero, *Odissea* (trad. GA Privitera). Milano, Centauria, 2015.

18. Vazzana, 2018, cit.; Vazzana A, *Interazione di Janthina pallida* (W. Thompson, 1840) (*Gastropoda: Epito-*

niidae) con *Veella veella* (Linnaeus, 1758) (*Hydrozoa: Anthoathecata: Porpitiidae*) e spiaggiamenti storici nell’Area dello Stretto di Messina. *Alleryana*, 38: 72-80, 2020.

***The Animal Iconography in the Archaeological Record.
New Approaches, New Dimensions.
Edited by Laerke Recht, Katarzyna Zeman-
Wisniewska, Equinox, Sheffield Bristol, 2021.***



È un libro molto bello, con una ricca parte iconografica che è parte integrante dei saggi, dedicati ad immagini di animali, più o meno fedeli al modello esistente in natura, che si ripetono in numerosi reperti archeologici derivanti da scavi effettuati per lo più tra Mediterraneo e Asia Minore, ma anche nell'estremo nord dell'Europa e in Siberia.

Capita che i reperti delle isole e coste greche mostrino interessanti, forse non casuali, somiglianze con campioni di origine molto più lontana, fino all'Asia centrale e al bacino dell'Indo. E già questo fatto – illustrato in particolare nella ricerca di Marie Nicole Pareja a proposito delle immagini della scimmia – mostra come il filo conduttore del volume apra a ipotesi e conferme che hanno a che fare con i rapporti commerciali e culturali fra popoli antichi, anche a grandi distanze.

I reperti descritti sono in prevalenza statue tridimensionali di terracotta o di bronzo, recipienti (parti di essi), incisioni sugli oggetti stessi, gioielli e fibbie, armi, incisioni rupestri. Gli animali le cui riproduzioni sono state qui studiate sono: il cavallo, la scimmia, uccelli vari, il leone, il cane, il polpo, ma anche animali fantastici, come il drago e il grifone. Parecchi dei reperti studiati appartengono a corredi funerari ed è abbastanza evidente che in molti casi l'animale (uccello, cavallo, ma anche animali marini, come il polpo...) svolge una funzione legata al culto dei morti e alla visione del loro mondo, presentandosi come accompagnatore e facilitatore dell'ultimo viaggio del defunto. Però sempre, anche nel massimo di stilizzazione, le immagini ci raccontano anche della presenza dell'animale nella vita quotidiana.

Il cavallo (cui sono dedicati due studi, di Emma Usmanova et al. e di Lonneke Delpout, che riguardano reperti provenienti da luoghi lontanissimi, dall'Egitto all'Asia centrale alla Cina) è il compagno del guerriero, ma anche del cacciatore, del viaggiatore o di chi trasporta pesi. In questo caso i finimenti dell'animale, con eventuali stemmi e iscrizioni, spostano il senso dell'immagine dal versante astratto e simbolico alla riproduzione di esperienze di vita e di attività normali, e ci possono dire qualcosa sui modi di lavorare, di spostarsi e di combattere. Nel caso del cavallo, alle immagini si accompagna, in vari siti funerari dell'Egitto e del Medio Oriente, la presenza di ossa, parti di scheletri e di finimenti, che fanno supporre che il cavallo preferito del guerriero venisse ucciso e sepolto con lui, non solo in effigie. Il che denota una profonda vicinanza tra umano e animale. Lo stesso si può dire per lo studio, in siti dell'antica Britannia, nel passaggio tra età del bronzo e conquista

romana, delle rappresentazioni e degli scheletri di cani: il cane, originariamente offerto in sacrificio e anche usato come cibo, via via, con l'aumentare dei ritrovamenti più recenti, successivi alla conquista romana, diventa compagno degli umani nella caccia, nel fare la guardia agli accampamenti e anche semplicemente animale di compagnia, ben trattato, nutrito e curato. Singolare la ripetuta presenza dell'immagine del cane nei templi di Asclepio, come alleato del medico nella cura, specie delle malattie degli occhi: c'era già il cane-guida? È evidente una comunanza di vita che fa dell'animale un collaboratore e compagno dell'uomo, in molte e diverse regioni del mondo.

Una questione che sta alla base di tutte le ricerche qui contenute è il recupero, relativamente recente negli studi archeologici, delle immagini di animali, prima trascurati rispetto, per esempio, agli strumenti di lavoro. Gli animali diventano indicatori di storia materiale dei popoli antichissimi, e anche delle conoscenze naturalistiche di questi popoli, oltre che del variare delle sensibilità. Un lato assai interessante, che però si presenta problematico per vari motivi.

È molto difficile (il repertorio iconografico ce lo mostra chiaramente) identificare in modo preciso, da un'immagine che può avere le funzioni più varie e doversi adattare a forme lontanissime dalle forme anatomiche, una conoscenza accurata dell'animale secondo la tassonomia di Linneo. Come fa notare in modo convincente Tonno Jonuks (saggio sulle immagini di creature fantastiche intorno al Baltico), non solo questa è stata messa a punto a distanza di un paio di millenni dagli oggetti di cui si parla qui, ma la stessa classificazione mentale, che senza dubbio i popoli dell'età del bronzo, o della prima epoca del ferro lavorato possedevano, variava da un gruppo geo-sociale all'altro molto più di quanto accade da un paio di secoli in qua. Gli stessi confini tra ciò che è animale e ciò che è umano, e anche tra ciò che è vivente e ciò che non lo è, erano fluttuanti; draghi, unicorni e altri animali fantastici avevano posto nelle opere di Plinio e da qui sono passate nei bestiari medievali; fonti infinitamente più vicine a noi degli oggetti trovati dagli archeologi. Per di più, i reperti archeologici raramente si presentano come oggetti tridimensionali, più spesso come frammenti di qualcosa che va integrato e ricostruito in via ipotetica, più o meno completa, più o meno persuasiva. È necessaria quindi grande cautela nel confrontare la figura riprodotta con la specie esatta dell'animale a cui si riferisce.

Più convincenti, ovviamente, sono i ritrovamenti di ossa, che hanno consentito di valutare in modo abbastanza persuasivo anche l'età approssimativa e lo stato di salute degli animali da cui provenivano.

I 13 saggi sono tutti composti da archeologi di professione; ovvio, ma forse un po' limitante. L'impressione – la mia, almeno – è che lo stesso ampliarsi del quadro dall'attenzione prevalente alle modalità e strumenti di lavoro a nuovi elementi dell'habitat richieda l'intreccio di diverse competenze. Solo nel caso del polpo (col numero variabile di tentacoli e ventose con cui si trova riprodotto su una serie enorme di reperti) uno dei coautori è un biologo marino (Giambattista Bello, ottimo conoscitore di cefalopodi) e in uno dei saggi sul cavallo è coautrice una giornalista.

Forse non è facile per il biologo, lo zoologo o l'etologo individuare un proprio ruolo specifico in questo indirizzo di ricerca, interessante e però ricco di incertezze, ma certamente un apporto di queste competenze avrebbe arricchito le ricerche. Allo stato attuale, direi che dagli studi presentati si ricavano molte notizie e curiosità soprattutto sul modo di vivere dei gruppi e degli individui umani e sul loro modo di rapportarsi agli animali che vivevano accanto a loro, o che vedevano passare a stormi durante le migrazioni, che inseguivano e abbattevano durante la caccia ma a cui poi affidavano i defunti per facilitarne il viaggio verso luoghi ignoti.

Francesca Civile

Marcello Buiatti: un'eredità per il futuro



Venerdì 13 maggio 2022, presso la Gipsoteca di Arti Antiche dell'Università di Pisa, si è svolta la giornata di studi “Marcello Buiatti: un'eredità per il futuro” per ricordare il genetista e ambientalista, collaboratore di *Naturalmente Scienza* da sempre, scomparso nell'ottobre 2020.

L'iniziativa ha ripercorso i vari aspetti della ricerca scientifica e dell'impegno politico e umano di Marcello Buiatti, con numerose testimonianze cariche di emozioni e ricchi contributi di chi ha avuto l'opportunità di imparare, studiare, collaborare con lui. Pubblichiamo qui alcuni interventi, certi che i frutti della sua eredità saranno a lungo ben custoditi. Nei prossimi numeri della rivista pubblicheremo altri contributi alla giornata di studi che ci sono sembrati di grande interesse.

Il pensiero come scelta di vita. Introduzione alla giornata di studi.

Anna Anglani Buiatti

Ringrazio innanzitutto i partecipanti sia in presenza che in remoto che si sono iscritti a questa giornata che anche dal programma si preannunciava intensa, impegnativa... e faticosa. Non so dirvi quanto questa risposta importante e affettuosa di tante persone, collaboratori, conoscenti, compagni che manifestano con la loro presenza interesse e vicinanza per la vita e il pensiero di Marcello ci sia, a me e a Marco, di grande conforto e sostegno per una mancanza che non poteva rischiare di sconfinare nell'oblio (come ho temuto a causa del lungo periodo di confinamento e interruzione di rapporti cui siamo stati costretti): voi ce ne date una fattiva dimostrazione.

Ringrazio la Gipsoteca che ci ospita, nelle persone dei responsabili, e tutti gli operatori che hanno reso possibile dal punto di vista organizzativo e tecnico questa giornata, con grande impegno personale, con simpatia e dedizione ben al di là dei loro compiti istituzionali. Ringrazio l'Università di Pisa che ha promosso, sostenuto, motivato e garantito la collaborazione con la Gipsoteca per l'attuazione di questo evento.

Ringrazio i professori Elena Gagliasso dell'Università di Roma e Maurizio Iacono dell'Università di Pisa senza la cui generosa creatività e impegno quest'evento sarebbe rimasto una semplice opzione di fantasia. Invece l'hanno inventato e si sono fatti carico dell'intelaiatura di questa giornata e ne gestiranno lo svolgimento con i loro interventi e con l'articolazione delle relazioni e delle testimonianze sui diversi aspetti del percorso scientifico, culturale, umano e politico di Marcello.

Ringrazio la Fondazione Toscana Sostenibile, nelle persone di Alessandro Lippi e Renato Cecchi, che ha dato un contributo essenziale per la realizzazione di questo evento, non solo per gli aspetti contenutistici, i rapporti con gli enti e

le personalità, ma facendosi anche carico degli aspetti logistici e tecnici che erano al di là delle nostre competenze. Ha acquisito dalla casa editrice ETS di Pisa, che ringrazio per l'impegno e la disponibilità, diverse copie del volume *Vivi perché diversi*, pubblicato per i cinquant'anni di ricerca e insegnamento di Marcello Buiatti. Ha inoltre promosso la collaborazione con l'agenzia di consulenza informatica N Key, coordinata e gestita dall'efficientissima Silvia Fergosti, che ha gestito in maniera egregia sia l'organizzazione degli accessi sia, attraverso i suoi giovani esperti collaboratori, la parte informatica dell'evento che, come vedrete, sarà piuttosto variegata. La Fondazione Toscana Sostenibile si farà carico di proposte concrete, fattive per lo sviluppo del pensiero di Marcello sul tema della sostenibilità ambientale.

In questa giornata ci si chiede quale eredità può venire al futuro dal pensiero di Marcello, direi meglio a chi può venire... Può venire a chi pensa. Parlando del pensiero di Marcello non ci si riferisce infatti solo agli aspetti concettuali e pragmatici, nei vari settori della conoscenza, le cui varie sfaccettature saranno oggetto delle relazioni e delle testimonianze, ma al pensiero come strategia esistenziale, come scelta di vita.

Marcello apparteneva alla generazione dei figli degli scampati alla persecuzione razziale, alla Shoa, lui stesso scampato vivendo in clandestinità con la sua famiglia, la madre ebrea polacca, il babbo resistente, del Partito d'Azione, durante l'occupazione nazista a Firenze nel '44/'45. Si è confrontato con il fenomeno della Shoa, che mette a dura prova i nostri schemi di pensiero. I crimini di massa contro l'umanità come la Shoa sono fenomeni sovralimimali, inumani, sfidano la

ragione mettendola in scacco. Si potrebbe dire che i crimini collettivi come la Shoa (evento unico, luogo dell'anima, non confrontabile con altri per quanto efferati) mettono letteralmente in scacco tutte le categorie morali, etiche e di pensiero di cui disponiamo. Per questo difensivamente Marcello e altri come lui hanno investito nel pensiero come risorsa inalienabile, per costruire nel pensiero una forma di resistenza, una *comfort zone* quando gli avvenimenti della storia in cui si è immersi, testimoni, protagonisti o vittime sembrano rappresentare uno scacco del pensiero, in quanto non conoscibili e interpretabili con le comuni categorie del pensiero critico.

Anche oggi sperimentiamo eventi storici e culturali che ci fanno sentire immersi in una sorta di scacco del pensiero, come recentemente, nel corso della pandemia, di fronte all'attacco acritico e insensato alla scienza; o come di fronte alla realtà

feroce e inumana di una guerra assurda che ci fa sentire impotenti, paralizzati nella nostra capacità di pensare, fino al punto di far entrare nella categoria del possibile, del pensabile anche il rischio del ricorso all'olocausto nucleare.

A fronte di questo scacco del pensiero, il messaggio e la spinta che si può riconoscere nella scelta, nella pratica di Marcello di percorrere e praticare il pensiero e la gioiosa curiosità per la vita in tutte le sue manifestazioni può essere quello di non rinunciare a pensare, di mantenere attivo il pensiero critico in tutte le aree della complessità della vita, imparare a pensare camminando, forti, decisi, tenendo come obiettivo la conoscenza della vita, anzi delle vite, come direbbe Marcello, in tutte le loro diversità. E tenendo come punti di riferimento etici i principi della nostra Costituzione che erano per Marcello valori e principi imprescindibili. ●

Alla ricerca di senso in scienza: il lavoro del biologo che pensa

Giuseppe Longo

Grazie per l'invito, un'occasione per vedere tanti amici pisani, ricordarne uno dei più cari. Io credo che potremmo attribuire a Marcello una frase di Boltzmann: "Nulla di più pratico in scienza di una buona teoria". Marcello era un pensatore teorico, anche, oltre che un osservatore ed uno sperimentale. Per lui impostare il quadro di pensiero esplicito era il cuore del lavoro scientifico. Io credo che in questo debba moltissimo, fra i tanti, anche al dialogo col figlio Marco, di formazione fisico teorico, spesso ricordato nella nostra collaborazione. Negli anni '70 abbiamo lavorato insieme, in politica, nel sindacato, nel nostro impegno in generale di tipo sociale: un incontro, all'epoca, essenzialmente estraneo allo scambio scientifico. Dopo esserci persi di vista, ci siamo ritrovati alla fine degli anni 2000, verso il 2007, a Parigi. Abbiamo ripreso un dialogo e una collaborazione tutta scientifi-

ca. A quel punto è mi è parso evidente che la sua preoccupazione, che era la mia, era quella di una chiarezza nella proposta di principi, e che fosse opportuno importare la forza teorica della teoria dell'evoluzione anche in un ambito di lavoro sugli organismi, in cui la visione teorica non è affatto consolidata. Che coraggio chiamare "biologia teorica" un gruppo negli anni '90! Adesso stiamo cercando di avviare una cattedra di biologia teorica a Parigi. Difficoltà immense. Una bestemmia per molti biologi non evolucionisti. Lo facciamo, fra l'altro, distinguendola nettamente dalla biologia matematica. La fisica ha distinto fisica matematica e fisica teorica 120 anni fa, nella biforcazione di metodo e sguardo fra Poincaré e Einstein. Non vanno confuse. Sono due ambiti in cui il dialogo ovviamente è importantissimo, ma che hanno una loro autonomia.

Marcello era un pensatore teorico.

Così mi spiegò gli Ogm di cui non sapevo nulla e con un brevissimo commento. Gli Ogm sono i figli diretti del dogma centrale. Basta questo a capire tutto. E anche di qualcos'altro di quei principi che Monod, grande pensatore e teorico, riassume dicendo che è *necessaria*, alla trasmissione e all'elaborazione dell'informazione genetica, la specificità macromolecolare esatta, cioè le corrispondenze geometrico-chimiche fra macromolecole. Meccanismo cartesiano, dice, chiave-seratura, algebra booleana. Monod, grandissimo sperimentatore e osservatore, uno dei più lucidi insieme a Jacob e pochi altri, presenta un quadro teorico tutto sbagliato, quello contro cui Marcello si batteva con grande chiarezza: un geno-centrismo senza *nuances*.

Gli Ogm. Adesso sono attivo in un gruppo europeo che si chiama *European Network of Scientists for Social and Environmental Responsibility*. Seguiamo un po' quello che sta succedendo nel mondo, la situazione disastrosa in Messico, ad esempio, dove si è passati dalle 50 varietà, nella zona nord, a cinque varietà di mais. Questo dice tutto. Cos'è la perdita di biodiversità? E in India, sul cotone, il numero dei suicidi dei contadini aiutano a capire dove c'è il cotone Ogm e dove no. Il microbioma che è distrutto dal glifosato oppure dai BT che producono un veleno che ovviamente non è specifico, generalista. Così, in entrambi i casi, il terreno ridotto è in sabbia, mi ha spiegato Marcello. Non lo sapevo. Ridotto in sabbia, ma per qualche anno si compensa con abbastanza fertilizzanti, comprati dalla Bayer, donde il più grosso conglomerato che esista al mondo, Bayer-Monsanto.

Quali erano i riferimenti fondamentali per Marcello? Io l'ho sentito innanzitutto parlare di Waddington e Barbara McClintock: i trasposoni, il controllo epigenetico dell'espressione genetica, di cui Monod disse: "la McClintock ha visto qualcosa, ma non ha capito che cosa ha visto". Stava introducendo, appunto, dinamiche non derivate dal DNA per il controllo dell'espressione genetica. Marcello faceva continuamente riferimento poi alla metilazione, alla demetilazione, ai

trasposoni. Di nuovo, idee della Barbara McClintock. Oggi sappiamo che pressioni e torsioni sulla cromatina modificano l'espressione genetica, quindi anche ruolo della collocazione all'interno del tessuto nella formazione dell'embrione, delle forze che vi si creano.

Come bisogna uscire da questo esistenzialismo tomista? dal *mainstream* della biologia molecolare in cui l'essenza di un organismo, le istruzioni del libro scritto da Dio (Collins, 2001), sono nel DNA, nella sua struttura chimico-fisica, una codifica *completa* dell'ontogenesi? Codifica? No, decodificare vuol dire "capire in un contesto di senso", non conoscere la chimica fisica, le forme,

Vivi perché diversi
Per i cinquant'anni di ricerca
e insegnamento di Marcello Buiatti

a cura di Elena Gagliasso
Pisa, Edizioni ETS, 2013



Questa raccolta di contributi, realizzata per festeggiare i cinquant'anni di attività professionale del biologo Marcello Buiatti, va dall'analisi del suo particolare e sintonico modo di pensare e studiare la natura, al suo agire nella politica scientifica italiana, trattare il ruolo delle multinazionali agricole, confrontarsi con i problemi dell'ambientalismo scientifico, ma anche con la storia dell'epistemologia della biologia teorica, affiancando sempre al laboratorio la divulgazione scientifica in scuole di ogni ordine e grado.

Il libro documenta a più voci il percorso lavorativo ed esistenziale di un personaggio contemporaneo che è un significativo punto di riferimento scientifico, politico e umano.

per dire, dei geroglifici. È importante, importantissima la conoscenza della struttura chimica fisica del DNA, traccia materiale di tutta l'evoluzione. Ma quel che conta è quello che il DNA *fa* nel contesto. Quello che fa il DNA contribuisce alla dinamica biologica, non solo quello che è. Per questo gli effetti contestuali modificano completamente la dinamica ontogenetico-evolutiva. Del resto Marcello faceva riferimento al ruolo della storia. Abbiamo scritto proprio su questo perché il punto di partenza del pensiero dell'immenso teorico dell'evoluzione Darwin, che oltre a osservare teorizzava, è il primo principio, non abbastanza detto, iterato nei primi quattro capitoli su sei: "riproduzione con variazione", un principio di non conservazione del fenotipo. Darwin è contemporaneo di Hamilton. Per fortuna non lo conosce, poiché quest'ultimo inventa la fisica matematica moderna, basandola su un principio di conservazione, energia e quantità di moto, che permettono col metodo di variazionale di scrivere l'hamiltoniano. Ecco, proprio c'è una divergenza teorica: *in primis* un principio di non conservazione come principio dell'eredità. Per questo il nostro articolo era dedicato alla canalizzazione dei flussi molecolari, ampiamente caotici o browniani, e a introdurre una nozione, forse un paio, come quella di bio-risonanza. E perché? Perché vedevamo il ruolo concorrente di tutti i livelli di organizzazione. La bio-risonanza ha luogo fra livelli di determinazione diversa, cioè livelli descritti teoricamente in modo diverso: molecolare, cellulare, tessuto, organismo, con forme di controllo reciproco a tutti i livelli. Oggi Denis Nobel ha teorizzato questo in maniera molto bella, chiamando "relatività biologica": il fatto che in un organismo non c'è un livello privilegiato di determinazione, non c'è un livello causale primario. Ora, siamo tutto un gruppo, è un filone di pensiero, per cui il DNA è un'importantissima traccia chimico-fisica di tutta l'evoluzione ed un *vincolo* alle dinamiche molecolari. Un cambiamento totale di sguardo che, sono convinto, sarebbe del tutto compatibile con la bio-risonanza e il modo in cui la interpretammo. Con Marcello la proponemmo senza negare il ruolo delle dinamiche

molecolari che partecipano alla dinamica biologica senza privilegi particolari dal punto di vista causale. Perché il vivente è in questa dinamica cangiante, cui partecipa l'aleatorio di tutti i livelli. Noi mettiamo poi in evidenza, grazie alla letteratura, il ruolo dell'aleatorio classico e quantistico che si sovrappongono in una cellula come la fisica non sa trattare, perché la mancanza di unità di campo e poi la diversità delle teorie classiche e quantistiche non permette di trattare i fenomeni aleatori diversi insieme, che invece hanno luogo al nello stesso tempo, si sovrappongono in una cellula. E i colleghi che ci raccontano che vogliamo spiegare con gli strumenti fisici le dinamiche biologiche dovrebbero innanzitutto far questo, unificare aleatorio classico e quantistico (distinti dalle disuguaglianze di Bell) oltre a spiegarci la idrodinamica. Sì, perché la idrodinamica dei fluidi incomprensibili non è ridotta né a Boltzmann né a Shoedinger. La si tratta nel continuo in tutt'altro modo, e ... c'è un sacco d'acqua in una cellula, con quale teoria molecolare (delle particelle) la si tratta? Quindi ho problemi, a cominciare dalla fisica, a trattare i fenomeni che avvengono contemporaneamente, si sovrappongono nella cellula. Questo è quello che abbiamo cercato di dire nel nostro articolo. La cellula, peraltro, che in quanto canalizzazione storica, risultato di una storia, da quella del DNA, della membrana, del proteoma, permette fenomeni di tipo chimico fisico che non hanno luogo altrove. Solo la storia giustifica le reti macro-molecolari che esistono solo all'interno delle cellule viventi. Questo pone una barriera radicale nella teorizzazione biologica rispetto alla teorizzazione fisica.

In un articolo recente che ho intitolato *Naturalizing Physics*, cerco di dire che una teoria unificata dovrebbe essere una teoria in cui si capisce la fisica come caso particolare della biologia: quando tutti sono morti, in un cimitero asettico. Ma questo dà alla fisica un ruolo enorme, anche in biologia: è un frammento della conoscenza che dobbiamo utilizzare ovunque.

Purtroppo però non abbiamo a fare solo con un riduzionismo fisicalista contro cui Marcello si accaniva. C'è qualcosa di peggio, cioè c'è questa

visione “linguistica” di “stringhe di simboli”, che determinerebbero completamente, come in informatica, le dinamiche dell’organismo-macchina. Il dogma centrale ha un solo significato: comunque lo si interpreti, significa che l’informazione per l’ontogenesi è *completamente* contenuta nel DNA. Si esclude così tutto quello a cui Marcello teneva tantissimo, tutti gli effetti epigenetici che dicono quello che fa la stringa di basi chimiche, che non è poi una stringa di segni, ma una struttura chimico fisica.

Con questo approccio linguistico si è avuta una distorsione portentosa della conoscenza, proprio quella contro cui Marcello si batteva. Io collaboro da 15 anni con dei biologi, in particolare impegnati sulle questioni dei perturbatori endocrini e del cancro. Così mi è capitato di ricostruire la vicenda della ricerca genocentrica su questo tema così drammatico, che ha visto un raddoppio dell’incidenza della malattia in 40 anni. Nel ’71 la guerra sul cancro inizia con un grosso impegno finanziario di Nixon. Ben venga, e gli fu promesso nel ’76 di risolvere il “*cancer puzzle*” perché si era visto delle mutazioni indotte e s’è detto: isolata la mutazione, correggiamo l’errore di scrittura, di programmazione, così nel ’76 avremo gli strumenti per battere il cancro. Ne conosciamo il seguito: von Eschenbach, direttore del National Cancer Institute, nel 2003, “decodificato” il genoma umano, proclama in un articolo che “faremo scomparire il cancro dalla faccia della terra per il 2015”. E poi tutti diranno, Collins in testa, protagonista della decodifica del genoma umano, che “nel giro di uno o due anni faremo diagnosi e prognosi del cancro guardando il DNA”. Ancor oggi, vent’anni dopo, solo l’istologo, al microscopio ottico, distingue il tumore primario dal metastatico, il benigno dal maligno, guardando tessuto e forma delle cellule. E non c’è niente altro da fare. Per lo più c’è una situazione di assoluto caos genetico.

Mutazioni? Certo, ce ne sono tantissime. Queste, ovviamente, retro-reagiscono negativamente sulla dinamica della malattia. Ovvero la peggiorano, ma sono tutte diverse. Rarissimamente la si può descrivere in maniera uniforme. E raramente

si individua un’origine oncogenica, ancor meno ereditaria. Questo approccio non è fiscalista, ma “linguistico”, è quello dell’algebra booleana che teorizzavano Monod e Jacob, l’idea dell’ “*editing*”, come l’*editing* di un testo, le correzioni di bozze, quella è la terminologia.

Così mi sono imbattuto in qualcosa che purtroppo non ho avuto tempo di discutere con con Marcello. Nel 2017 Jennifer Durden scrive un libro sulla “riprogrammazione dell’evoluzione”, dedicato al “nuovo potere di controllare l’evoluzione”. E Jennifer Dowd ha avuto il Premio Nobel per la biochimica nel 2020. È un libro terrificante, ho scritto un resoconto di nove pagine. Il libro inizia e si imposta esplicitamente con il Dogma Centrale, nel 2017, in riferimento al lavoro tecnico che la porterà con la francese C. Charpentier, al premio Nobel del 2020, per questa notevolissima tecnica, CRISPR, di intervento sul DNA. Credendo che questo codifichi completamente la dinamica biologica, pretendono di pilotare gli organismi, pilotare gli animali e le piante nell’evoluzione. Poi altri seguiranno: Isaacson dirà addirittura... cambiamento climatico? non c’è problema, noi programmiamo l’uomo in modo da adattarlo al cambiamento climatico. Il libro, tradotto in tutte le lingue, è vendutissimo. Meriti tecnici enormi. Tipico esempio di tecnoscienza senza scienza, un cumulo di tecniche, come la *Mainstream Molecular Biology* senza scienza, senza teoria, o meglio con una teoria catastrofica, quella contro cui Marcello si è battuto tutta la vita.

Il colmo è che, poi, confidenzialmente questi autori ti dicono “sì, va bene sappiamo che il dogma centrale, che scriviamo in tutti i libri di testo delle facoltà di Biologia e ancor più in quelli di Medicina, non funziona. Il problema è il vuoto teorico, il quadro alternativo non c’è, o meglio negano, bloccano, impediscono, questi stessi biologi molecolari *mainstream*. Come hanno reso la vita difficile chi pensa diversamente, come Marcello. E quindi si può fare biologia con il Ibn Yunus del X secolo, grandissimo astronomo di lingua araba che inventa la trigonometria sferica ha misurare accuratissime di tutti i corpi celesti visibili. Con queste, si faranno le tavole alfonsine, grazie

ai suoi dati dico, con cui sarà possibile la navigazione al XV secolo, cioè grandi applicazioni. Quadro teorico? tutto sbagliato, è tolemaico. Ma perché sbagliato? Per mancanza di dati? No, per carità. Conoscevano tutti i movimenti planetari e dei corpi visibili. Era sbagliato teoricamente, è contro il principio di inerzia di Galileo. È il principio che inizia la rivoluzione scientifica, un principio di conservazione ed il principio di inerzia impedisce i movimenti retrogradi, gli zig zag dei movimenti tolemaici.

È un questione teorica e per questo ho trovato il dialogo con Marcello densissimo, come, *in primis*, lo è la critica degli Ogm. Ci siamo poi intesi anche sul ruolo che lui voleva attribuire all'aleatorio, come costitutivo della biodiversità anche all'interno dell'organismo. Questo è stato per me un momento massimo di contatto con Marcello. Purtroppo non ebbi abbastanza tempo per discutere con lui della specificità delle interazioni macromolecolari, che si pretendono esatte. Ho capito le conseguenze di questa visione teorica quando, come dicevo, ho collaborato per 15 anni con dei biologi a Boston e poi a Parigi sulle questioni che partono dai perturbatori endocrini e portano al cancro. Pensate che nel XX secolo abbiamo piazzato nell'ecosistema 80.000 molecole artificiali. Cosa diceva la teoria dominante? Non c'è problema. La gran parte sono piccole molecole, non interagiscono con le macromolecole delle diverse attività biologiche. E già, certo. Ma agiscono in probabilità. E poi alcune non sono piccole... il fatto è che modificano le probabilità di interazione macromolecolari, tipicamente quelle delle cascate ormonali, e interferiscono con i recettori cellulari. I miei amici Carlos Sonnenschein ed Anna Soto si sono accorti nel '92 dell'effetto cancerogeno del BPA. Hanno detto loro: "ma no, è diverso dagli ormoni con cui dovrebbe interferire". Ebbene, il problema è che, appunto, non esiste una specificità esatta. Sono interazioni da dare in modo statistico, in termini di probabilità e tali probabilità dipendono dal contesto. Quindi certo il BPA interagisce con il recettore cellulare, con molte meno probabilità dell'ormone pertinente, ma col tempo risulta un gravissimo perturbatore

endocrino. Nel '92 era presente in tutte le plastiche trasparenti alimentari. Ci sono voluti quasi vent'anni per riuscire a proibirlo.

Situazione analoga di quella che era successo prima col tabacco; ci si trova sempre di fronte a questa situazione, il diniego organizzato anche "scientificamente". Così, nel caso del cancro, questa totale centraggio sull'oncogene o il proto-oncogene o il mancante onco-soppressore sposta il dibattito dall'analisi delle cause sistemiche ed ambientali alle sole analisi del DNA. I perturbatori endocrini ed i cancerogeni li conosciamo quasi tutti, ma sono un oggetto secondario di ricerca. E si tratta di una distorsione, di nuovo, neppure di tipo fisicalista, ma linguistica della biologia: facciamo *editing*, riscriviamo il programma, l'essenza dell'organismo. E questo mi preoccupa molto. Qualcosa che ha pesato nella vicenda di tanti, anche quella di Marcello. So bene le sue difficoltà a trovare finanziamenti, a trovare interlocutori e come è stato talvolta maltrattato. Del resto la storia è percorsa di queste vicende. Piatelli-Palmarini racconta come negli anni '70 non gli fu permesso di citare Barbara McClintock o di andare a trovare Waddington. Emarginati per 30 anni. Per non dire di Prusiner, che si era permesso negli anni '80 di dire che c'era un ripiegamento di proteine dovuto ad alte proteine. Una storia che mi raccontò Marcello. Questo andava contro il dogma centrale. E invece, appunto, sono i priori. La storia è costellata di vicende analoghe.

C'è ora un cambiamento che forse Marcello avrebbe saputo sottolineare con evidenza. Se uno sente una lezione seguita da una cascata di altri interventi di Jennifer Doudna, recentemente fatta e reperibile su Youtube, e molto ascoltata, in cui Donna promette di curare *tutte* le malattie, dice *tutte*, riprogrammando le cellule, con queste tecniche CRISPR e con l'*editing*, con le forbici molecolari. Secondo me c'è un passaggio che è nuovo. C'è in quella lezione un tono *messianico*. C'è del messianesimo. Chiaramente, in una situazione di crisi che tutti sentiamo di fronte all'ecosistema, alla pandemia, arriva il tono messianico. Sarebbe stato bello discuterne con Marcello perché lui teneva molto alla Bibbia, ma in tutt'altro

modo, in tutt'altra ottica, teneva all'aspetto critico del pensiero ebraico. Lui mi indicò in Eva Jablonka quelle bellissime pagine critiche in cui faceva vedere che cosa vuol dire il gioco dialettico, la contraddizione, la tensione teorica nel dibattito. Ecco, quello era un aspetto fondamentale per Marcello. E oggi ci troviamo invece di fronte a questi fenomeni di messianesimo, spesso accompagnati da un sacco di soldi. Bill Gates un paio di settimane fa ha annunciato un enorme finanziamento a cui l'Organizzazione Mondiale della Sanità pare dare assenso, teso a eliminare tutti i virus delle vie aeree superiori, anche quelli dell'influenza, *dixit*. Vi rendete conto? È ragionevole stimare che noi siamo compatibili o simbiotici col 99% dei virus, forse il 99,99. Leggiamo questo fatto in un altro modo: i grandi organismi incompatibili con più dell'1% o lo 0,01% dei virus sono morti. Infatti, batteri e virus plasmano l'evoluzione. Così se noi stiamo uscendo da questa pandemia è perché l'ultimo è in realtà il sesto coronavirus in 140 anni. Ovvero, ci siamo progressivamente adattati ogni volta, con ovviamente alti prezzi di morte. Dinamica adattativa, una cascata evolutiva di aggiustamenti reciproci con i virus. Per questo io credo che la sintesi fra un pensiero politico e un pensiero scientifico che Marcello faceva continuamente ed è al cuore delle nostre preoccupazioni, in realtà è quasi più facile da fare oggi: un pensiero teorico che vada

contro queste sciocchezze che ho appena detto, che dominano perché dominano finanziariamente, perché sanno fare potentissime alleanze tecnico-finanziarie.

Il pensiero teorico in biologia è già un impegno politico in sé ed è difficile averlo anche per questo senso immediato di interazione uomo/ecosistema. Perché è ricco di questo impegno contro il meccanicismo che ci correla la natura, compreso i danni dello sfasciare la biodiversità, dello stimolare in questo modo le zoonosi, per non dire delle sperimentazioni insensate. E perché un pensiero critico e dialettico del vivente, di questa dinamica evolutiva che era al cuore dell' "evo-devo", come pensato da Marcello, deve farci uscire dalla egemonia di una scienza per il controllo meccanico persino della evoluzione, dei virus, dice Bill Gates, che ha programmato computers. Si va sia da questa visione e tentativi catastrofici, gli Ogm, programmare il vivente, fino a chi usa le reti informatiche per un controllo totale della società umana. Il nesso va fatto. E proprio la risposta scientifica in sé è una garanzia già di avere un contenuto politico. Per fortuna, i giovani della AAGT che presiedo pensano di poter praticare e teorizzare alternative, proprio nello spirito evo-devo di Marcello, attenti all'ecosistema, all'interazione umana, alla tecnosfera. Ho spesso discusso con loro in una prospettiva che deve moltissimo al suo insegnamento. ●

A scuola con Marcello Buiatti

Francesca Civile

Ho incontrato varie volte Marcello Buiatti anche a scuola, in classe o in aula magna, invitato a parlare ai ragazzi di scienza, in particolare di scienza del vivente, come strumento di formazione generale; ma anche come testimone delle aberrazioni del razzismo nel '900, in occasione del Giorno della memoria. La persecuzione antiebraica, fino all'occupazione tedesca di Firenze, l'aveva vissuta da bambino, ebreo, e la riportava nelle sue testimonianze lucide ma cariche di emozione. I due tipi di interventi si incrociavano quasi sempre: le teorie delle razze umane, diverse

e gerarchizzate "in natura", sono state smentite ampiamente dalla biologia e dalla genetica, eppure riaffiorano periodicamente quando si discute di immigrazione o di bioetica. Per Marcello il legame tra il rifiuto di ogni forma di razzismo e una *forma mentis* scientifica era un fatto scontato, ma da consolidare via via nel processo formativo, perché i ragazzi assorbono largamente il senso comune e il linguaggio comune di un'opinione pubblica non particolarmente attrezzata dal punto di vista scientifico. Per Marcello occorreva tenere insieme la demistificazione della scienza

come magico strapotere e la considerazione di essa come faccenda astratta, che riguarda solo i supertecnici e non ogni cittadino: la mentalità e il metodo scientifico sono attrezzi di approccio alla realtà umana, ambientale e storica, a disposizione di tutti e per tutti. La biologia, in particolare, ci mette a confronto con oggetti complessi, non complicati; complessi specialmente perché l'osservatore, studioso o comune cittadino, è in essi coinvolto, ne è parte, e la conoscenza è processuale, non statica. Da essa deriva non solo uno stile di ragionamento, ma anche uno stile di comportamento.

Una vicenda molto recente, che mi ha fatto pensare a Marcello Buiatti, è stato quel che è capitato nella Stazione spaziale internazionale, dove astronauti e ricercatori di molti paesi collaborano a turni, dal 1998. Poco dopo l'inizio della guerra tra Russia e Ucraina, i due astronauti russi erano usciti ed avevano esposto fuori della capsula la bandiera dell'Armata Rossa, che nel 1945 aveva contribuito alla sconfitta della Germania nazista; poco dopo, il direttore dell'Agenzia spaziale russa aveva comunicato che i due avrebbero abbandonato la missione internazionale. Ma lo scorso 3 maggio Oleg Artemyev, uno dei due che avevano esposto la bandiera, ha regolarmente sostituito il collega americano Thomas Mashburn al comando della Stazione. Una situazione che fa pensare a come una comunità di ricerca funzioni in modo assai diverso dalle comunità nazionali da cui pure gli astronauti provengono. E fa pensare a Dante

che, immaginando di vedere da molto lontano la Terra nel suo volo verso i cieli tolemaici, la vede come "l'aiola che ci fa tanto feroci".

Le caratteristiche democratiche, aperte e non mercantili che ha (o dovrebbe avere) la ricerca scientifica dovrebbero diventare un modello di rapporto con gli altri, con la conoscenza e con il mondo. Da qui il coinvolgimento profondo di Marcello con la formazione, scolastica e universitaria, con i cambiamenti a tratti sperimentati, sempre auspicati e mai, a tutt'oggi, concretizzati nei modi e tempi dell'insegnamento. In particolare nell'insegnamento delle scienze, un comparto sacrificato negli orari, nelle attrezzature, nell'aggiornamento dei contenuti; ma un campo non separato isolato rispetto ad altre aree disciplinari.

Buiatti ha partecipato a corsi di formazione e aggiornamento per gli insegnanti, anche attraverso la loro associazione nazionale (ANISN) dal 1987, ha pubblicato una quantità di articoli su riviste di didattica già negli anni '70, quando una riforma della scuola sembrava fattibile e se ne sperimentavano alcune pratiche. Temi come la biodiversità, il rifiuto della parcellizzazione nel campo delle scienze sperimentali, il nesso fra conoscenza, lavoro e impatto sull'ambiente erano per lui conoscenze che avrebbero dovuto avere un posto centrale nella formazione. Attento sempre alle ricadute tecnico-pratiche della ricerca, era altrettanto attento a non ridurre la ricerca scientifica e i finanziamenti relativi a finalità puramente tecnologiche e immediatamente "vendibili".

Su questi temi è intervenuto pubblicamente, varie volte, a livello nazionale: nel 1992 sui programmi elaborati dalla commissione Brocca, con un articolo piuttosto critico, pubblicato sul numero speciale di *Naturalmente* dal titolo *Biologia: finalità innovative, contenuti arretrati*; nel 2001, con un appello sottoscritto con altri studiosi, rivolto al presidente della Repubblica Ciampi, al presidente del



consiglio Berlusconi, alla ministra della Pubblica Istruzione Moratti e a Rutelli, leader dell'opposizione, intitolato *Appello dei docenti delle Discipline scientifiche contro l'impovertimento culturale e materiale dell'Italia*; nel 2008, con Guido Barbujani, Rita Levi Montalcini e altri, partecipa alla stesura del *Manifesto degli scienziati antirazzisti*, a settant'anni dalla promulgazione delle leggi razziali e in polemica puntuale con le tesi del *Manifesto degli scienziati razzisti* del '38. Settant'anni dopo, l'Italia era in piena polemica politica e culturale sull'immigrazione e le presunte diversità naturali. Il *Manifesto degli scienziati antirazzisti*, presentato a San Rossore nell'anniversario della firma delle leggi razziali, fu fatto proprio dal Consiglio della Regione Toscana ed è stato diffuso in tutte le scuole della regione.

Per Marcello Buiatti le diversità, che sono di ciascuno, sono una risorsa evolutiva e una ricchezza, hanno a che fare con la capacità genetica di adattamento e con l'arricchimento culturale, non già con presunte gerarchie razziali. Facile immaginare che cosa avrebbe pensato e detto a proposito dei singolari criteri di accoglienza umanitaria per cui oggi si accolgono i profughi ucraini dalla guerra, ma si respingono i rom che scappano dalla medesima Ucraina e dalla stessa guerra; per non parlare di chi cerca di arrivare via mare da altre guerre e distruzioni, in corso ormai da più di un decennio in Medio Oriente...

Ma il dibattito a livello politico e culturale alto (anche in sede europea, a Bruxelles) non lo ha mai distolto dalla attenzione capillare al settore formativo: dagli anni '90 come collaboratore, e poi come membro dell'associazione Scuola-Città Pestalozzi di Firenze, ha contribuito a organizzare una serie di percorsi di educazione ambientale rivolte ai bambini della scuola dell'obbligo. Il più noto è una ricerca sull'intreccio, in piazza S. Croce a Firenze, degli elementi architettonici, monumentali, pavimentali "non viventi" con presenze meno appariscenti, ma che continuamente interagiscono con il versante antropizzato: uccelli, insetti, cani, gatti, licheni, bambini e nonni, poi pubblicato col titolo *Ritmi di vita in piazza Santa*

Croce. Un'esperienza didattica dell'ambiente nel 1997. L'esperimento-ricerca dice due cose: non esiste un luogo fatto solo di "cose" inanimate, come non esiste un luogo "naturale" allo stato puro, né un ambiente vergine a cui ritornare per scampare alle malefatte ambientali dell'umanità; non esistono artefatti umani totalmente isolati dall'influenza dinamica del vivente e viceversa. Un tipo di lavoro che poi Marcello ha proseguito con il Laboratorio di Educazione Ambientale di villa Demidoff, sempre a Firenze.

A Marcello piaceva comunicare con i ragazzi in formazione, anche con i piccoli della scuola primaria; era convinto che fossero perfettamente in grado di recepire e di interagire con una visione della realtà corretta dal punto di vista scientifico e molto accattivante sul versante emotivo, perché alimentata dalla curiosità e dall'allenamento all'osservazione. E in effetti la risposta c'era, probabilmente più nelle aule scolastiche e nei laboratori in piazza che in Parlamento o tra i membri della Commissione Brocca. Le mie esperienze con le "lezioni" di Marcello hanno sempre visto una empatia quasi immediata anche con gli studenti meno "studiosi". Il linguaggio era carico di partecipazione e di fiducia negli interlocutori, le cose che diceva e proponeva stimolavano il coinvolgimento, la curiosità, l'avvio di uno sguardo diverso sul mondo vivente; cioè, in fin dei conti, sul mondo *tout court*. Eppure esponeva concetti non banali né banalizzati (era un divulgatore veramente efficacissimo); credo che uno dei segreti fosse il fatto che, per Marcello, la scienza dei viventi era una grande passione, una cosa sua vissuta e amata, una componente del suo modo di essere, e questa sensazione in qualche modo passava agli ascoltatori, anche ai meno attrezzati. Si sentiva, nel modo in cui parlava di biologia, una sorta di cura affettuosa per tutto quel che è vivo e che morirà, a cominciare dalle cellule. Una cura affettuosa che comincia con una conoscenza seria e profonda. Credo che anche i moltissimi ragazzi che hanno avuto occasione di ascoltarlo conservino, come me, il suo ricordo con grande gratitudine. ●

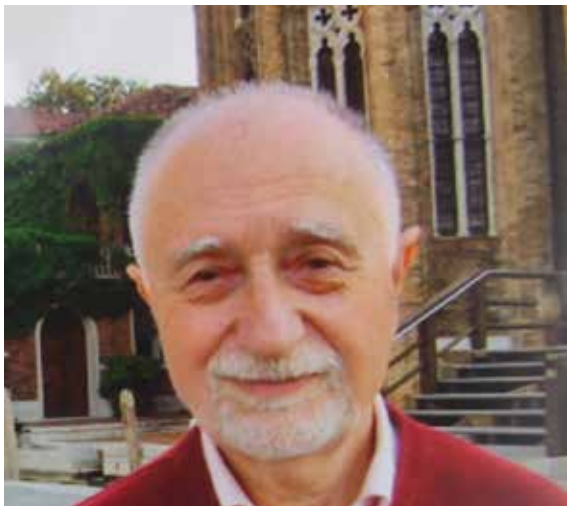
Un percorso comune verso la complessità: scienza, politica e storie personali

Manuela Giovannetti

Ringrazio gli organizzatori per avermi dato la possibilità di parlare del rapporto che c'è stato tra me e Marcello relativamente a questioni di scienza, politica e anche storia personale. In realtà io e Marcello abbiamo avuto per tutta la vita un rapporto che è stato fatto di comuni interessi scientifici e comune sentire. Anche se non ci vedevamo spesso, ed è stato così in alcuni periodi della nostra vita, ogni volta che ci incontravamo era immediata la nostra vicinanza di pensiero, la condivisione di opinioni e pareri sui temi più disparati.

Poiché siamo entrambi laureati in Scienze Agrarie e abbiamo lavorato alla facoltà di Agraria dell'Università di Pisa, molti potrebbero pensare che ci siamo incontrati in facoltà. In realtà io, quando sono diventata studentessa della facoltà di Agraria, Marcello lo conoscevo già, l'avevo conosciuto prima di diventare sua allieva, nell'istituto di Genetica del professor D'Amato. Lo avevo incontrato in una delle tante manifestazioni politiche, riunioni di gruppi di studio che caratterizzavano la vita politica della città di Pisa in quel periodo: sto parlando della fine degli anni '60 e inizio degli anni '70, e delle varie formazioni politiche in cui era divisa la sinistra all'epoca. Mar-

cello l'avevo incontrato in uno di questi seminari o gruppi di studio, non ricordo la data precisa e il tipo di evento. Ricordo però molto bene che insieme a lui c'era spesso Anna. E ricordo anche quando ci dettero l'annuncio che era nato Marco. Quando venne il momento di dare l'esame di Genetica, speravo tanto che lui non fosse presente, perché temevo il suo giudizio nel caso in cui l'esame fosse andato male. In realtà lui quel giorno non era presente, l'esame andò bene e io continuai gli studi. Mi sono laureata nel '74 e ho incominciato a fare ricerca nell'istituto di Microbiologia. Mi occupavo di sistemi genetici negli Eucarioti, in particolare di funghi filamentosi come *Aspergillus nidulans*, una comune muffa. Intanto a Pisa, proprio all'istituto di Genetica, erano cominciati gli studi sulla mutagenesi ambientale, nei laboratori che sarebbero divenuti l'Istituto del CNR di Mutagenesi Ambientale, il cui primo direttore è stato Nicola Loprieno. Con Marcello Buiatti e Marco De Bertoldi - che era un assistente di Microbiologia ed un mio docente venuto dall'Inghilterra - iniziammo a vederci per programmare alcuni studi sugli effetti mutageni dei pesticidi usati in agricoltura. Iniziammo dai microfunghi, che sono più facili da studiare. Ci trovavamo spesso anche con Roberto Barale, un altro grande genetista. Ovviamente io ero una giovane borsista e loro assistenti, ma il rapporto era comunque paritario, almeno da parte loro. Sia Marco che Marcello mi stimolavano a studiare sempre di più la genetica e appena giunse la notizia che il grande genetista Guido Pontecorvo, sarebbe stato ospite della Scuola Normale Superiore per un ciclo di seminari sulla genetica degli eucarioti, e proprio di *Aspergillus*, fui spedita a seguire le sue lezioni. Era la metà di maggio del 1977, io ero laureata da tre anni e devo dire che imparai moltissimo da questo grande scienziato. Tra l'altro a Guido Pontecorvo è dedicato un



edificio intero, Pontecorvo Building, nel dipartimento di genetica di Glasgow. Lui apparteneva alla famiglia Pontecorvo, una famiglia pisana: il fratello Gillo era regista, il fratello Bruno aveva fatto parte del gruppo di Fermi e successivamente era emigrato in Unione Sovietica per continuare le ricerche sulla fisica dell'atomo. Con Marcello e Marco De Bertoldi progettavamo di scrivere un "libro bianco sui pesticidi" e sui loro effetti mutageni e cancerogeni. Molte riunioni le facevamo nell'Istituto di Microbiologia, io avevo avuto il mio primo figlio, ma facevo di tutto per partecipare. C'era sempre molto da imparare dalle parole di Marcello. Intanto le nostre vite personali e i nostri percorsi scientifici proseguivano e ci portavano lontano. Io avevo vinto nel frattempo una borsa NATO e nel 1978 andai a lavorare in Inghilterra, a perfezionare la mia specializzazione in microbiologia. E del libro bianco sui pesticidi non si parlo più. Ma Marcello continuò a interessarsi al tema ambientale, facendo una sintesi tra ricerca scientifica, impegno politico e sociale, diventando poi Presidente dell'Associazione Ambiente e Lavoro.

Nel corso degli anni seguenti ci siamo incontrati saltuariamente a Pisa. Lui era sempre molto impegnato, facendo anche il pendolare con Firenze, dove insegnava genetica come Professore Ordinario. Nel 1991 i nostri percorsi scientifici si sono incontrati di nuovo, perché insieme ad altri scienziati pisani, ci riunivamo nello studio del professor Giovanni Prodi, il grande matematico, per dare vita a un gruppo di studio interdisciplinare chiamato "Seminario di Biomatemática". I personaggi più importanti erano naturalmente Marcello Buiatti e Giovanni Prodi, ma mi fa piacere ricordare anche alcuni degli animatori di questo seminario: Vieri Benci, Lodovico Galleni, Fabrizio Luccio, Paolo Freguglia, Leone Fronzoni, Paola Cerrai e Giovanni Cercignani, che è presente questa mattina. I seminari si tenevano il sabato mattina a settimane alterne e trattavano di argomenti diversi, interdisciplinari, aventi però come tema unificante la biologia teorica e lo studio della complessità. A questi seminari invitavamo spesso scienziati anche di altre università.

Ricordo il seminario del 1991 di Cecilia Saccone sulla bioinformatica e l'evoluzione molecolare, del 1993 di Pietro Omodeo sulla definizione di organismo vivente, del 1995 di Scannerini su simbiosi ed evoluzione, di Sarà sulla epigenesi ed evoluzione, di Cosmovici sulla esobiologia. Nel 1995 cambiammo nome e diventammo "Gruppo interdisciplinare di Biologia teorica 'Vito Volterra'" e il battesimo del gruppo fu celebrato dal rettore Luciano Modica, con un importante convegno nazionale. Finché nel 1998 fu istituito dall'Università di Pisa il CISSC, Centro Interdipartimentale per lo Studio dei Sistemi Complessi, il cui primo Direttore fu Vieri Benci. Certamente Marcello non si risparmiava e ricordo i suoi colti seminari sulle relazioni complesse tra informazione, vita e evoluzione, sul funzionamento dei geni ai fini della morfogenesi, sulla struttura del DNA e il genoma delle piante, sui rapporti tra forma e funzione negli esseri viventi. Il suo multiforme ingegno lo portava a interessarsi di molti aspetti della scienza, ed era molto interessato anche alla storia della biologia. Ricordo in particolare il seminario su riduzionismo e olistismo, che mi fece vedere sotto una luce nuova le stesse ricerche che stavo in quel momento portando avanti. Mi fece capire che lo studio della natura non può fermarsi a una visione meccanicista e determinista, ma deve tener conto della complessità degli organismi viventi e delle variabili e numerose interazioni che si stabiliscono tra loro e che ne influenzano il funzionamento. Gli sarò sempre grata anche per questo.

Ci siamo trovati a pensarla nello stesso modo in seguito, quando negli anni '90 si è animato il dibattito sugli OGM. Eravamo arrivati alle stesse conclusioni non sentendoci mai sul tema, e con punti di partenza molto lontani: lui da un punto di vista strettamente scientifico, e io invece da una rivolta etica riguardante i geni Terminator. Da lì poi mi sono interessata degli OGM e del loro impatto sull'ambiente. Ci siamo incontrati spesso a convegni, seminari, inviti, collaborazioni con la Regione Toscana, con Slowfood e altre organizzazioni. Su questo tema abbiamo collaborato per la richiesta di un finanziamento europeo per un

progetto di ricerca, che ci promise di interagire con un gruppo di 36 scienziati di 12 paesi europei e pubblicare un lavoro riguardante la possibilità di creare una rete europea per valutare l'impatto ambientale degli OGM.

Ci siamo poi trovati insieme nel Comitato Scientifico delle Baxter Lectures, cicli di conferenze organizzate dall'Università di Pisa in occasione dei 200 anni dalla nascita di Charles Darwin, denominate "Il futuro di Darwin". Gli organizzatori erano Margherita Galbiati e Lorenzo Calabi. Dal 2006 al 2009 si sono svolte le Lectures, a cui hanno partecipato scienziati illustri, non solo italiani. Marcello fu un animatore del Comitato Scientifico, e si distinse per l'ampiezza del suo sguardo sul mondo vivente, con contributi sulla evoluzione delle reti viventi e di biologia teorica.

Fino al 2010 non abbiamo avuto occasione di svolgere ricerche insieme, di unire i nostri gruppi di lavoro presso le due università, Pisa e Firenze. Un giorno mi chiamò per propormi un progetto sul

miglioramento genetico della pianta *Gypsophila* da presentare per il finanziamento al Ministero delle Politiche Agricole Alimentarie Forestali. Il progetto fu approvato e i nostri gruppi di ricerca lavorarono insieme per 4 anni. Così conobbi la sua fidata collega Patrizia Bogani, e continuammo a collaborare su un tema importante di ingegneria genetica: gli effetti pleiotropici dei transgeni. Nel 2015 pubblicammo uno studio sugli effetti pleiotropici causati dalla inserzione di un gene di topo in una pianta del genere *Nicotiana*, a cui appartiene anche il tabacco. Gli effetti sul fenotipo erano notevoli per quanto riguarda la fioritura, il portamento, la morfologia delle foglie, l'altezza delle piante, il numero degli internodi, la grandezza e densità degli stomi. Naturalmente in seguito ci siamo incontrati molte volte a Pisa, la nostra città. Ogni volta ci fermavamo a parlare per scambiarci notizie, anche sulle nostre famiglie. Ci siamo sempre voluti bene. E di questo affetto io sarò per sempre grata a Marcello. Grazie. ●

Un filo rosso. Marcello Buiatti e l'Associazione Ambiente e Lavoro

Renato Cecchi e Alessandro Lippi

Nel 1989 nacque anche in Toscana l'Associazione Ambiente e Lavoro (ALT): Marcello Buiatti assunse l'incarico di presidente e Renato Cecchi quello di segretario¹. Lo scopo dichiarato era la gestione partecipata e il superamento dei conflitti tra ambiente e salute da una parte e lavoro e occupazione dall'altra a favore della qualità ambientale e della salute. Centrale fu la critica del dominio dell'economia sulla società e sugli esseri viventi del Pianeta, ma anche della stessa proposta di Sviluppo Sostenibile² come strategia semplicistica

della soluzione del conflitto tra società e ambiente da una parte ed economia di mercato autoregolantesi, dall'altra. ALT si proponeva di combattere i danni alla salute umana, ambientale e a tutti gli esseri viventi, attraverso la critica di crescita e sviluppo capitalistico come visione economica e ideologica meccanicistiche della realtà e delle condizioni sociali e ambientali. Era, il nostro, un sodalizio di idee e pratica sociale fondato su conoscenza, metodo e dati scientifici. Tutto ciò portava ALT ad assumere la dinamicità non line-

1. La fondazione di ALT fu un processo durato circa due anni, più che un atto singolo (a parte il deposito dell'atto formale presso il notaio Ferro di Firenze. Marcello Buiatti fu presidente fino al 2000 quando diventò presidente nazionale di Ambiente e Lavoro

sostituendo l'economista ambientale Mercedes Bresso nel frattempo divenuta parlamentare europea.

2. Si veda il Rapporto Brundtland 1987 della Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo.

are degli eventi e dei comportamenti dei sistemi complessi (naturali, sociali, della salute, politici e istituzionali). Un apparato di idee, di sperimentazioni e azioni che Marcello veniva sviluppando su basi scientifiche in ambito biologico³.

Con queste idee ALT affrontava il confronto, le discussioni nel sindacato (soprattutto CGIL), con le associazioni ambientaliste, le istituzioni e le controparti produttive ed economiche. Obiettivi erano i limiti a cui sottoporre le attività umane oltre alle modalità da seguire tenendo conto delle interazioni con l'ambiente e con il vivente. Significava stare sempre ancorati al terreno concreto della conoscenza dei processi vitali, naturali, dei processi sociali complessi, le relazioni tra società ed economia, tra società e lavoro, tra capitale e lavoro. Si evitava in questo modo, per quanto possibile, di restare intrappolati nelle secche della contrapposizione tra chi credeva ciecamente nella crescita economica e chi invece demonizzava ogni attività produttiva umana.

Un altro concetto fondamentale alla base dell'azione di ALT fu quello di "bilancio energetico" complessivo di ogni organismo e sistema e la necessità di mettere in evidenza i processi di regolazione interna degli stessi e delle relazioni/scambio con l'esterno. Ricorrendo anche qui, come sosteneva Marcello, più alla nozione di mantenimento di un flusso dinamico ricorrente (omeoresi) che a quella del raggiungimento naturale di una relativa stabilità di un sistema vivente (omeostasi), perché quello che viene mantenuto in ogni organismo e sistema non è un equilibrio stabile ma un equilibrio dinamico, che si modifica nel tempo sia durante lo sviluppo che durante l'evoluzione. Concetti fondamentali mutuati dalla biologia⁴, come quello di informazione e di relazione e che gettavano nuova luce sul metodo necessario ad affrontare la problematicità dell'approccio ad ambiente e lavoro, tra società e sistemi, organiz-

zazioni, strutture economiche e produttive, fino alla capacità strategica di "produrre ambiente"⁵. Ricordiamo qui alcune battaglie fondamentali che videro il contributo di ALT e di Marcello:

- a favore del Referendum del 1993 dal quale il Ministero per l'Ambiente acquisì maggior ruolo istituzionale e capacità politica di iniziativa;
- sul recepimento ed attuazione del DLgs 626/94 che accoglieva la direttiva europea per la tutela della salute e la sicurezza dei lavoratori;
- a tutela dell'ambiente e della salute di cittadini e lavoratori come, per esempio alla Solvay di Rosignano, alle acciaierie di Piombino, nei distretti tessile di Prato e del cuoio di S. Croce S.A. (ancora oggi agli "onori" delle cronache), sui cantieri dell'Alta Velocità nel Mugello e tanti altri luoghi ancora; e ancora l'esemplare gestione della crisi ambientale prodotta dall'esplosione del reattore dell'azienda chimica MAS di Pistoia condotta dall'epidemiologa dott.ssa Eva Buiatti con il CdF e ALT;
- contro la diffusione degli OGM da parte delle multinazionali;
- per la realizzazione e attuazione di REACH, il sistema europeo di controllo e limitazione degli agenti chimici dannosi alla salute del vivente e dell'ambiente in tutte le sue espressioni naturali e urbane;
- per l'applicazione del regolamento europeo che prevedeva e prevede la partecipazione degli stakeholder (comprese le associazioni di interessi ambientali) alle principali scelte in campo sociale, ambientale ed economico. Dalla VII legislatura le associazioni ambientaliste saranno firmatarie e parte organica del patto che portò alla costituzione del Tavolo di Concertazione per le politiche di sviluppo e del lavoro, e aventi ALT come rappresentante unico a quello stesso tavolo;
- per l'applicazione coerente in Toscana della direttiva UE di Valutazione di Impatto Ambientale Strategica (VAS) di Piani e Programmi.

3. Si veda a questo proposito Marcello Buiatti, *Lo stato vivente della materia. Le frontiere della nuova biologia*, Torino, UTET, 2000.

4. Ivi: XI-XII.

5. Si veda a tale proposito Hans Immler, *Economia della natura, produzione e*

consumo nell'era ecologica, Roma, Donzelli Editore, 1996.

Dopo il referendum, la nascita ed il consolidarsi progressivo di un sistema di agenzie regionali, insieme a quella nazionale, favorisce altresì la crescita di una cultura innovativa del controllo e della protezione ambientale. Questi elementi insieme ad una buona dose di autonomia sono i connotati normativi ed originali della Agenzia Regionale per l'Ambiente della Toscana, l'ARPAT, alla quale ALT diede un contributo essenziale di azione anche nei confronti del Consiglio Regionale Toscano in fase di legislatura, inizialmente orientato a dare vita a poco più che un ufficio a disposizione dell'esecutivo, per un'agenzia capace di azione terza.

Intanto il paese si dota in pochi anni, 1996/2002 di una vasta gamma di direttive europee, di normative e regolamenti regionali e nazionali in precedenza del tutto assenti (rifiuti, bonifiche, acque, aria, rumore, elettromagnetismo, valutazione di impatto ambientale, valutazione ambientale strategica informazione ambientale). È una fase tumultuosa a cui l'empatia, l'impegno, la disponibilità e l'equilibrio di Marcello danno un importantissimo contributo di analisi, di approfondimento e di divulgazione nel confronto serrato che si apre tra i diversi soggetti della pubblica amministrazione e della società civile ed economica. Molteplici sono le iniziative, un misto di scienza politica e cultura fatto di progetti di ricerca, di seminari e di convegnistica scientifica, formativa e divulgativa. Sono gli anni della collaborazione autorevole da parte di Marcello e di ALT anche con l'istituto Ambiente Italia, sede Toscana, con Legambiente Toscana, la partecipazione alle iniziative di CGIL Toscana, l'assistenza alla direzione generale di ARPAT, il supporto agli assessori regionali per l'agricoltura e le foreste e all'ambiente ed il sostegno ad alcuni lavori del Parlamento Europeo.

Si rese però necessario, a un certo punto, passare da una fase di volontariato e di "occasioni"

(seppure importanti) ad una fase più duratura di sviluppo di capacità di studio e di ricerca mediante uno specifico soggetto autonomo strutturato e dotato di risorse umane e finanziarie. È allora che, nel 2002, la riflessione di Marcello Buiatti, sostenuta dalla volontà collegiale in ALT, CGIL, Legambiente e nella stessa ARPAT, lo spinge a proporre e favorire la nascita della Fondazione Toscana Sostenibile, mettendo in comune diverse esperienze disciplinari e professionali, al fine di promuovere modelli di sviluppo sostenibile attraverso attività di ricerca e di diffusione della conoscenza, soprattutto in ambito regionale, ma non solo⁶.

Marcello diviene presidente di Ambiente e Lavoro Nazionale nel 2003, carica che ricopre ininterrottamente. Nel dicembre dello stesso anno la Fondazione Toscana Sostenibile⁷ ottiene la qualifica di Organizzazione Non Lucrativa di Utilità Sociale (ONLUS), viene riconosciuta dalla Regione Toscana ed iscritta a registro delle persone giuridiche. In seguito viene anche riconosciuta quale agenzia formativa per l'educazione non formale degli adulti (EDA). È bene ricordare che tutte le attività della Fondazione sono state finanziate con contributi ed a seguito della partecipazione a bandi pubblici; in particolare, dalla Regione Toscana, dalla UE, dall'IRPET, da amministrazioni provinciali e comunali, da fondazioni bancarie.

Tra le molte attività promosse dal 2004 al 2020 con la presidenza di Marcello di particolare rilievo è stata quella di supporto al Presidente della Giunta Regionale per il coordinamento delle politiche sulla sostenibilità negli anni 2007-2009, con attività di coordinamento per la realizzazione del Rapporto sulla Sostenibilità della Toscana e la definizione di una proposta di Piano di Azioni per lo sviluppo sostenibile e l'adattamento al cambiamento climatico, sulla base delle sollecitazioni che emergevano dal Rapporto mondiale sullo stato degli ecosistemi, dal rapporto Stern e dai

6. Tra le molte iniziative curate da ARPAT con Buiatti, citiamo la pubblicazione, da parte della casa editrice La Nuova Italia, dei due volu-

mi *Natura e Cultura. Materiali per una nuova educazione ambientale*, un testo innovativo, di autori vari, curato da Marcello Buiatti

e Stefano Beccastrini, uno per la Toscana ed uno per il Paese da adottare nelle scuole e distribuito dall'Agenzia in tutta la regione.

7. Lo statuto ed un quadro completo della attività della Fondazione è scaricabile dal sito www.ftsnet.it.

rapporti dell'IPCC, che hanno rappresentato dopo Rio de Janeiro, attraverso chiare evidenze scientifiche, un punto di svolta fondamentale a livello internazionale per prendere atto dell'urgenza di dover agire per contrastare il cambiamento climatico. In tale ambito, sono state anche svolte attività di ricerca quali l'analisi della sostenibilità della programmazione e della pianificazione regionale; l'analisi della sostenibilità dei processi decisionali; l'analisi delle relazioni tra cambiamenti climatici e sistema socio-economico toscano; e poi, ancora, l'individuazione di un set di indicatori di benchmarking regionale; la valutazione dell'interdisciplinarietà della formazione universitaria regionale e l'analisi sulla "qualità" dell'informazione sul tema dei cambiamenti climatici; e, infine, l'analisi del sistema energetico toscano.

Nell'ambito di tale attività, sono state anche promosse con Regione Toscana alcune iniziative divulgative e partecipative del tutto innovative, tra cui due edizioni degli Stati Generali della Sostenibilità, la prima nel 2007 a Firenze, la seconda nel 2009 sempre a Firenze: una piattaforma concettuale e programmatica sullo sviluppo sostenibile regionale con l'obiettivo di costruire un nuovo equilibrio dinamico delle dimensioni economica, sociale ed ambientale e come elemento trasversale per l'integrazione delle politiche.

Grazie anche alla partecipazione attiva del Presidente Marcello Buiatti, l'attività di supporto di

FTS alla Giunta Regionale ha quindi contribuito a rilanciare un modello di *governance* che tenesse conto delle forti connessioni fra tutti gli elementi dei sistemi, puntando su una maggiore integrazione delle politiche e una reale concertazione e coesione fra gli stakeholders che li inducesse a lavorare insieme per il cambiamento della struttura economica e sociale della Toscana in direzione di una vera sostenibilità. Si è dunque trattato di un prezioso contributo di conoscenza utile ad un nuovo modo di pensare ed agire, un contributo che, nelle mutate condizioni, rappresenta ancora una preziosa eredità per il futuro. Non si può certo dire che oggi questi indirizzi trovino riscontro nel panorama della politica e delle istituzioni toscane. La Fondazione, nonostante le traversie occorse di progressiva riduzione delle risorse umane e finanziarie dopo il 2012, è ancora attiva e lavora, mantenendo vivi l'insegnamento e la memoria di Marcello, in particolare su bandi per progetti comunitari, ERASMUS, con scambi con altri paesi europei di giovani ed adulti su temi di cittadinanza attiva, di democrazia partecipata, di buone pratiche di sostenibilità, di cambiamenti climatici.

A conclusione ho il piacere di informarvi che il consiglio di amministrazione nella scorsa settimana su nostra proposta ha deliberato la messa a disposizione di una borsa premio di 1.000 euro per giovani laureati dell'università di Pisa e di Firenze sui temi della sostenibilità a livello regionale. ●



uno scatto alla natura

Un nastro carico di vita

foto di Ignazio Riccioli, testo di Giambattista Bello



Doglio, *Tonna galea*. Al largo di Catania, Ionio occidentale, 12 settembre 2020; profondità: 40-50 m. Foto: Nikon D750, obiettivo Sigma 15 mm 2.8; 1/100 sec, f 13, iso 200, due flash sea and sea ys120.

La foto ha colto il doglio in un momento molto delicato del suo ciclo biologico: l'ovodeposizione, un atto da cui dipende la sopravvivenza della sua stirpe e dell'intera specie, ancor più importante se si pensa che alcune popolazioni mediterranee di *Tonna galea* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Gastropoda: Tonnidae) sono a rischio di estinzione. Questo gasteropode, infatti, è protetto a livello internazionale dalla Convenzione di Berna nonché dalla Convenzione di Barcellona, che ne vietano la raccolta, la cattura, l'uccisione, il commercio, il trasporto e il disturbo specialmente durante il periodo riproduttivo.

Il bel mollusco marino vive su fondi sabbiosi o detritici, da pochi a 120 metri di profondità, dell'Atlantico e del Mediterraneo. La sua conchiglia è molto grande, fino a 30 cm, relativamente leggera e fragile. È specie carnivora; con la proboscide alimentare estensibile, cattura le prede (prevalentemente oloturie), che vengono digerite grazie all'azione di acidi liberi (acido solforico in concentrazioni tra 2,20 e 4,88% e, in minor misura, acido cloridrico).

Poiché il doglio è prevalentemente notturno, individui della specie sono pescati di notte con le reti a strascico, quando si muovono in cerca di prede. Occasionalmente, sono anche catturati con reti da posta, in cui incappano durante le loro escursioni.

Mentre ci sono varie informazioni di natura ecologica, scarseggiano quelle biologiche. Sembra avere crescita lenta; negli adulti, infatti, il bordo libero della conchiglia si allunga in senso spirale di pochi centimetri all'anno. Ne consegue, pertanto, che per raggiungere le sue grandi dimensioni occorrono diversi anni; in altri termini, il doglio è un animale a vita lunga. In acquario, con condizioni di tem-

peratura prossime a quelle naturali dell'Adriatico meridionale, il suo accrescimento è stato pressoché nullo nei mesi freddi per riprendere in primavera e accelerare nei mesi estivi. Come avviene in molti molluschi marini a crescita stagionale differenziata, anche nella conchiglia del doglio, alla ripresa della crescita estiva, si forma un segno di accrescimento annuale (equiparabile agli anelli periodici del tronco degli alberi).

Le informazioni sul suo periodo riproduttivo, sul finire dell'estate, vengono soprattutto dall'attività dei fotografi subacquei pronti a cogliere – come nel caso di questo “scatto alla natura” – l'atto dell'emissione delle uova, attratti dalla splendida ovatura: un nastro plissettato punteggiato di rosa, lungo fin quasi un metro e largo un paio di decimetri e oltre. Le piccole aree ovoidali (3,6 mm di diametro) tinte di rosa, quasi un ricamo sul nastro, sono capsule ovariche distribuite uniformemente in file trasversali nella matrice gelatinosa del nastro, una quarantina di capsule per fila. Poiché ogni capsula contiene un centinaio di uova e ogni ovatura contiene da 4.000 a 8.000 capsule, il conto è presto fatto: ad ogni deposizione, il doglio femmina emette tra 400.000 e 800.000 uova. Non è noto se ciascuna femmina emetta una o più ovature durante la stagione riproduttiva. Una produzione annuale di mezzo milione di uova non vi sembri elevatissima, giacché, quando dopo oltre un mese dalla deposizione, la matrice si dissolverà e contemporaneamente le capsule ovariche si schiuderanno rilasciando nell'ambiente le centinaia di migliaia di veliger (le larve planctoniche del doglio), questi si disperderanno nella colonna d'acqua dove resteranno per alcune settimane prima di stabilirsi sul fondo e mutare radicalmente stile di vita. È evidente che, durante la fase larvale planctonica, la mortalità è elevatissima, così come avviene per le larve di tutte le specie marine che vivono come planctonti le prime fasi del ciclo biologico.

Tutti i documenti fotografici mostrano il nastro dell'ovatura ripiegato a onda, plissettato, come già detto sopra. Ciò dipende dal fatto che il doglio madre alterna, durante l'ovodeposizione, brevi periodi in cui rimane ferma in un punto, e quindi il nastro-ovatura emesso si ripiega su se stesso spingendosi verso l'alto, a brevi periodi di spostamento.

Ho parlato di “femmina” e di “madre”, sottintendendo che c'è anche un “maschio” e “padre”. Infatti, *Tonna galea* è specie a sessi separati, contrariamente ai tanti gasteropodi ermafroditi, e la femmina depone il suo carico di uova fecondate dopo l'accoppiamento e la fertilizzazione interna. Il maschio si riconosce per la presenza di un vistoso organo riproduttore, distinguibile quando il corpo è ben espanso fuori dalla conchiglia.

Il nome italiano di questo panciuto mollusco, doglio, è un chiaro riferimento alla forma della conchiglia; infatti esso viene direttamente dal latino *dolium* = orcio, giara. Anche qualche nome regionale richiama i tondeggianti recipienti in terracotta, come il napoletano *cozzammumola*, letteralmente cozza-orcio. E il nome scientifico *Tonna* da dove deriva? A coniarlo fu il danese Morten Thrane Brünnich nel 1771, mutuandolo dal latino medievale *tunna* = grosso barile, termine che è rimasto nell'inglese moderno come *tun*, di uguale significato. Insomma, nei vari nomi c'è sempre il richiamo agli antichi contenitori di coccio e, con funzione di contenitore, la conchiglia veniva usata tra le mura domestiche più povere fino a un po' di decenni addietro: come portasale e persino, riempita di terreno, come vaso per farvi crescere qualche pianticella (me ne ricordo una con una pianta di basilico), ma anche come una sorta di mestolo per travasare olio. ●

Le informazioni riportate sono state prese dai seguenti lavori, liberamente disponibili nel sito di *ResearchGate*:

Doxa CK, Sterioti A, Kentouri M, Divanach P, *Encapsulated development of the marine gastropod Tonna galea (Linnaeus, 1758) in captivity*. Journal of Biological Research-Thessaloniki, 16: 304-307, 2011.

Paparella P, Bello G, *Note sull'accrescimento e sul comportamento alimentare di Tonna galea (Mollusca: Gastropoda: Tonnidæ) in cattività*. Bollettino Malacologico, 52: 90-93, 2016.

Sotto le lenti del microscopio.

Parte terza: nuovi strumenti per una migliore conoscenza delle cellule

Alessandro Minelli

This is the third and final part of the history of microscope observations begun in issue no. 3/2021 of the magazine and continued in no. 1/2022. A new series of innovations between the eighteenth and nineteenth centuries makes it possible to identify cellular structures whose existence was not even suspected. Among the cells, the gametes are the object of particular attention: the new observations allow the full understanding of fertilization. The historical narration stops with the end of the XIX century. The twentieth century will see, among other things, the advent of electron microscopy, through which it will be possible to push the eye on incredibly fine details of the organization of living things.

Keywords: *History of science, Microscope observations, Cellular structures*

Innovazioni tecniche in microscopia

Alla fine degli anni 30 del secolo XIX, l'avvento della teoria cellulare ha risvegliato l'interesse per un'analisi della struttura fine degli esseri viventi, per un rinnovamento di quell'anatomia microscopica che fino a quel momento ha incontrato tante difficoltà tecniche, soprattutto nell'esame dei tessuti animali.

Il microscopio, peraltro, già non è più il primitivo strumento di Hooke, di Leeuwenhoek e di Swammerdam.

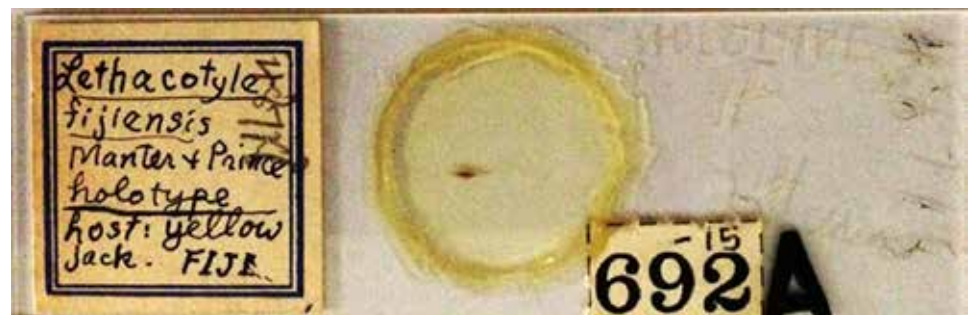
Il microscopio semplice è stato definitivamente abbandonato e i microscopi composti in uso nell'Ottocento sono ormai simili, nella struttura, ai meno sofisticati fra i microscopi in uso ancor oggi.

Verso la metà del Settecento, l'inglese John Cuff (1708-1772) ottiene il primo brevetto nella storia della microscopia: è il segno dell'ingresso del nostro strumento nel mondo delle invenzioni di rilevanza economica.

Un grosso problema da superare sarà presto rappresentato dalla correzione delle aberrazioni ottiche, cioè delle deformazioni dell'immagine dovute all'impiego di semplici lenti biconvesse o pianoconvesse, deformazioni via via più gravi a misura che si sale con gli ingrandimenti.

Del problema si occupano, oltre ai costruttori di microscopi, anche i matematici, che si esercitano nel non semplice compito di calcolare la curvatura ottimale da attribuire alle lenti, così da ridurre al minimo le aberrazioni.

Un contributo assai importante, in tal senso, lo dà il grande matematico svizzero Leonhard Euler detto Eulero (1707-1783), che negli anni 1762-64



Preparato microscopico realizzato intorno al 1860: tutto il margine del vetrino coprioggetti – che è circolare, secondo l'uso prevalente allora – è sigillato per prevenire la penetrazione dell'aria.

sviluppa una teoria delle lenti acromatiche, sulla base della quale Harmanus van der Deijl (1738-1809) costruisce le prime lenti corrette.

Un'altra innovazione, preziosa per la realizzazione di un microscopio composto, sta nell'introduzione del balsamo del Canada come mezzo per fissare tra loro due lenti. L'innovazione è introdotta da Jacques-Louis-Vincent Chevalier (1770-1841) e da suo figlio Charles-Louis (1804-1859). Il balsamo del Canada ha lo stesso indice di rifrazione del vetro, per cui la sua interposizione fra due lenti equivale, in termini ottici, a una completa saldatura di queste. Per questa stessa proprietà, il balsamo troverà presto impiego nell'allestimento di preparati microscopici permanenti, cioè quale mezzo per fissare un sottile vetrino coprioggetti al più robusto vetrino portaoggetti, sul quale sono disposti i piccoli materiali da osservare. Il coprioggetti era stato introdotto nel 1784 da Jan Ingen-Housz (1730-1799), lo scopritore dell'assimilazione del carbonio da parte delle piante.

È databile al 1746 la costruzione delle prima slitta per un rapido cambio degli obiettivi, da parte di Georg Adams (1708-1773), un tecnico inglese al quale si attribuisce la costruzione di ben 315 microscopi. Diventa così possibile eseguire quella sequenza di operazioni che poi è diventata la pratica corrente di ogni microscopista: si comincia con una prima esplorazione dell'intero preparato a basso ingrandimento, così da individuare le zone meritevoli di un esame più dettagliato; quindi, mediante una veloce sostituzione dell'obiettivo, senza spostare il preparato, si passa a ingrandimenti maggiori, così da osservare dettagli sempre più fini. Il microscopio, naturalmente, non viene usato solo per l'osservazione di oggetti minuscoli, ma anche per studiare dettagli fini della struttura di oggetti più grandi. Verso la metà del Settecento, ad esempio, vari microscopisti si cimentano nell'osservazione della circolazione del sangue, nella rana o in altri animali, attraverso le lenti dei loro strumenti e l'anatomico berlinese Johannes Nathanael Lieberkühn (1711-1756) giunge a costruire un vero e proprio "microscopio anatomico", convenientemente accessorizzato per consentire queste osservazioni.



Microscopio compostodei primi anni del secolo XIX, costruito secondo un popolare modello di John Cuff.

Altri problemi che la microscopia deve risolvere riguardano l'illuminazione dei preparati.

Della necessità di un'adeguata illuminazione, via via più intensa a mano a mano che si sale con gli ingrandimenti, si sono naturalmente accorti anche i primi microscopisti e già in qualche immagine seicentesca, come quella che raffigura il microscopio composto di Hooke, si vede come lo strumento ottico fosse corredato di un apparato per illuminazione: una fiammella, la cui luce giunge al preparato da osservare attraverso una sfera piena d'acqua, opportunamente disposta, così da concentrare i raggi luminosi. Ma già negli stessi anni Balthasar de Moncony (1611-1665) introduceva la lente di campo, atta a concentrare i raggi luminosi, e un secolo più tardi Lieberkühn realizzava lo specchietto che porta il suo nome.

I progressi della microscopia si legano, peraltro, alle innovazioni che la tecnica introduce in settori diversi, per cui intorno al 1845 Charles-Louis Chevalier applica per la prima volta ad un microscopio la luce proveniente da una lampada

elettrica ad arco: ricordiamo, per inciso, che le prime lampade ad arco di uso pratico venivano messe a punto proprio in quegli anni da William Edwards Staite (1809-1854), da Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) e da altri.

Grossi problemi restano, comunque, nell'osservazione delle strutture più fini, che richiedono ingrandimenti più forti.

Un decisivo passo verso un miglioramento delle condizioni di osservazione viene compiuto quando Giovan Battista Amici (1786-1863) propone di interporre una gocciolina d'acqua tra la lente frontale dell'obiettivo e il coprioggetti. È il 1850 e con questa innovazione nasce la tecnica dell'osservazione in immersione. Questa porta presto alla costruzione di appositi obiettivi, specie dopo che il grande ottico tedesco Ernst Abbe (1840-1905) ha dimostrato (1878) i vantaggi dell'impiego dell'olio di legno di cedro, in luogo dell'acqua. L'olio di cedro non evapora rapidamente come l'acqua e, soprattutto, ha un indice di rifrazione più opportuno.

Abbe è rimasto famoso anche per la messa a punto della camera lucida, un dispositivo che permette di eseguire disegni accurati di quanto si viene osservando al microscopio; dispositivo prezioso



Fisico, matematico e ingegnere, Giovan Battista Amici portò fondamentali innovazioni alla tecnica microscopica; poi si dedicò in proprio allo studio delle piante a livello cellulare.

che oggi tende ad essere dimenticato, a causa degli immensi progressi della tecnica fotografica. Il primo apparato per disegno, tuttavia, sembra sia stato applicato a un microscopio già nel 1807, da William Hyde Wollaston (1766-1822).

In stretto rapporto con la riproduzione grafica delle immagini ingrandite dal microscopio sta il problema della misura accurata delle dimensioni dei singoli particolari che compaiono nel campo d'osservazione. Anche questo problema viene affrontato con successo dai costruttori di lenti dell'Ottocento, in particolare da Friedrich Adolf Nobert (1806-1881), il quale costruisce una macchina che permette di incidere su un vetrino fino a 20 000 linee, regolarmente spaziate, nel breve intervallo di un pollice!

Tutte queste innovazioni tecniche riguardano, in sostanza, lo strumento, il microscopio. Altre e non meno importanti innovazioni sviluppate nel frattempo, hanno a che fare con la tecnica di allestimento dei preparati da osservare attraverso le lenti. Fino alla metà dell'Ottocento, infatti, i materiali collocati sul vetrino portaoggetti non subivano altra manipolazione se non quella, spesso necessaria, di una riduzione di spessore, mediante schiacciamento o con la realizzazione di rudimentali sezioni; tutt'al più, venivano usati a volte liquidi fissativi, come l'alcool, che prevenivano il rapido deterioramento del campione biologico. L'uso di sostanze colorate era limitato ai pochi preparati per iniezione, che prevedevano l'introduzione di liquidi di colore diverso nell'apparato circolatorio o in altri spazi dell'organismo, ma la tecnica, per ovvie ragioni, veniva applicata piuttosto agli animali macroscopici ed era seguita dall'osservazione a occhio nudo.

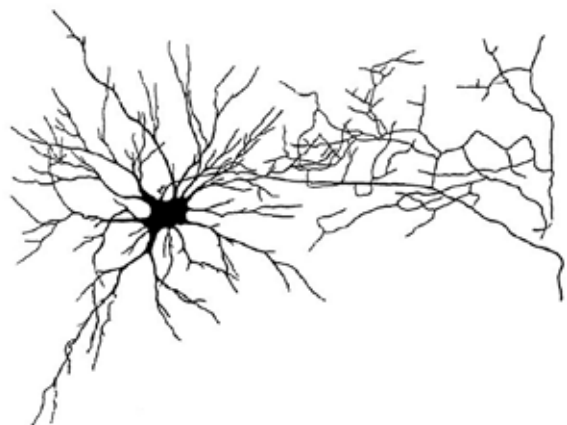
Intorno al 1855, però, Joseph von Gerlach (1820-1886) introduce la pratica della colorazione dei preparati istologici, basata sull'impiego di sostanze che si fissano ai materiali biologici, rendendoli assai più visibili, anche in sottili sezioni, sotto le lenti del microscopio. Questa innovazione non tarda a farsi strada. William Henry Perkin (1838-1907) introduce così nel 1856 i coloranti all'anilina, Wilhelm von Waldeyer-Hertz (1836-1921) sperimenta nel 1863 l'ematosilina; più

tardi, nel 1881, Paul Ehrlich (1854-1915) utilizzerà per primo il blu di metilene.

Alcune di queste sostanze colorano un po' tutto il materiale cellulare, pur fissandosi di più su certe strutture, che ne risultano così più intensamente colorate; altri coloranti sono invece più selettivi, legandosi specificamente solo a determinati materiali, dove naturalmente esistono sostanze chimiche con le quali essi, reagendo, danno origine a prodotti caratteristicamente colorati.

Già nel 1864, ad esempio, Karl Fromman (1831-1892) nota che le cellule nervose (neuroni) hanno una particolare affinità per i sali d'argento: osservazione importante, dalla quale deriverà il metodo di impregnazione argentea sviluppato nel 1885 da Camillo Golgi (1844-1926), che permetterà di ottenere preparati in cui il decorso delle più sottili fibre nervose risalta con straordinaria chiarezza. Si definisce così, a poco a poco, quella che diventerà la pratica corrente delle preparazioni istologiche, utilizzata fino ai nostri giorni; una pratica che prevede le seguenti tappe fondamentali: fissazione, inclusione, allestimento di sezioni, colorazione, montaggio del vetrino.

Fissare un tessuto significa trattarlo con sostanze chimiche atte a impedire la naturale degradazione del materiale biologico, degradazione che interviene presto, quando esso non fa più parte di un essere vivente. Il più classico fissativo è



Cellula del midollo spinale colorata con la tecnica dell'impregnazione argentea (dalla *Nobel Lecture* di Camillo Golgi dell'11 dicembre 1906, pubblicata nel 1907).

naturalmente l'alcool etilico, ma nella seconda metà dell'Ottocento si scoprono varie possibilità alternative, fra cui il trattamento con acido osmico, introdotto nel 1865 da Franz Eilhard Schulze (1840-1921), che verrà poi ripreso, a distanza di un secolo, per la fissazione dei materiali destinati alla microscopia elettronica.

Dal materiale fissato, quando non sia rappresentato da organismi di dimensioni microscopiche come un protozoo o un batterio, devono essere tratte sezioni sufficientemente sottili da permettere ai raggi luminosi di attraversarle. Anche questa operazione, naturalmente, richiede tecniche adatte. Nel 1865 Wilhelm His (1831-1904) inventa una sorta di affettatrice che può risolvere il problema: è il microtomo, destinato anch'esso a evolversi rapidamente. Dai primi microtomi, infatti, era possibile ottenere solo una fettina alla volta, ma già nel 1882 è disponibile un modello che consente di ottenere una serie indefinita di sezioni, una attaccata all'altra come i successivi fotogrammi di una vecchia pellicola fotografica. Segmenti di questo nastro possono essere facilmente raccolti su un vetrino portaoggetti, per le successive manipolazioni.

I progressi del microtomo non dipendono però soltanto dalla realizzazione di lame adeguate e di congegni meccanici che consentano un avanzamento regolare, dopo ogni fetta, del blocco da tagliare, oppure della lama, così da ottenere sezioni dello spessore voluto; occorre anche mettere sotto alla lama un blocchetto di consistenza opportuna, quale può essere ottenuto mediante la preventiva inclusione del materiale fissato in un mezzo omogeneo, come la paraffina introdotta da Walther Flemming (1843-1905) nel 1869.

La struttura delle cellule

Con queste tecniche diventano improvvisamente visibili moltissime strutture, la cui stessa esistenza non era nemmeno sospettabile.

Fin dal 1842 il botanico svizzero Carl Wilhelm von Naegeli (1817-1891) mette in evidenza, nel nucleo delle cellule vegetali, dei corpi allungati, ai quali Waldeyer nel 1888 darà il nome di cromosomi, e osserva altresì un fatto imbarazzante

per la teoria cellulare da poco proposta, vale a dire la scomparsa del nucleo durante la divisione cellulare. Cinque anni più tardi Karl Bogislaus Reichert (1811-1883) osserva in prossimità del nucleo una curiosa struttura simile ad una minuscola sfera raggiata: è l'apparato della sfera, di cui più tardi si riconoscerà il ruolo nel processo di divisione del nucleo.

L'anno seguente Franz von Leydig (1821-1908) mette in rapporto la divisione del nucleo con la divisione della cellula che lo ospita: la scomparsa del nucleo osservata da Naegeli durante la divisione cellulare deve dunque corrispondere al momento in cui il nucleo stesso si divide dando origine a due nuclei, destinati ciascuno ad una delle due cellule figlie.

Il comportamento dei cromosomi durante la divisione del nucleo, però, verrà descritto solo nel 1873, ad opera di Anton Schneider (1831-1890), di Otto Bütschli (1848-1920) e di Hermann Fol (1845-1892); sei anni dopo, Eduard Strasburger (1844-1912), Flemming e W. Schleicher (che nel 1878 introduce il termine cariocinesi) proporranno addirittura la divisione nucleare come causa della divisione cellulare.

Sempre nel 1873 Fol identifica nell'apparato della sfera, più precisamente nei due aster che se ne formano all'inizio della divisione nucleare, i poli d'attrazione per i cromosomi che formeranno i nuclei figli. Tre anni dopo Eduard van Beneden (1846-1910) individua il centrosoma, la struttura nella quale la microscopia elettronica scoprirà infine il centriolo dalla caratteristica struttura.

Sempre nel 1876 Édouard Gérard Balbiani (1823-1899) suggerisce una nuova immagine del cromosoma, che a suo vedere sarebbe costituito da una successione lineare di unità strutturali.

I mezzi di osservazione continuano ad affinarsi e su materiale vegetale, ancora una volta più favorevole rispetto a quello animale, Strasburger riesce a dimostrare (1880) che la divisione del nucleo prevede la divisione longitudinale di ciascun cromosoma; la stessa osservazione sarà ripetuta nel 1882 da Flemming su cellule animali.

Gameti e fecondazione

Fra tutti i tipi cellulari, oggetto di particolare attenzione sono ovviamente quelli in rapporto con la riproduzione, cioè i gameti (uovo e spermatozoo), nonché le cellule che danno loro origine. Dopo che Schwann, nel proporre la teoria cellulare, ha senz'altro inteso l'uovo come cellula, spetterà a Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905) suggerire nel 1841 che sono cellule anche gli spermatozoi. Tre anni dopo, lo stesso Kölliker affermerà che anche l'uovo dei mammiferi deve essere considerato una cellula. Nel 1861, il concetto sarà generalizzato a tutti i vertebrati da parte di Carl Gegenbaur (1826-1903). Lo studio della struttura degli spermatozoi, però, rimane a lungo difficile, date le dimensioni assai ridotte dei gameti maschili; solo nel 1865 Franz Schweigger-Seidel (1834-1871) e Adolph von LaValette-St. George (1831-1910) potranno dimostrare che anch'essi, come le altre cellule, sono costituiti di nucleo e citoplasma.

Non si può dire che il ruolo degli spermatozoi, fino a quegli anni, fosse stato correttamente inteso; rimaneva in molti il dubbio che si trattasse, addirittura, di parassiti. Ma nel 1849 Moritz Wagner (1813-1887) e Rudolf Leuckart (1822-1898) riuscirono finalmente a dimostrare che l'intervento dello spermatozoo è essenziale perché l'uovo venga "attivato" e inizi il processo di segmentazione. Ironia della sorte vuole che nello stesso anno esca il libro di Richard Owen (1804-1892) sulla partenogenesi, cioè sullo sviluppo di nuovi individui da uova non fecondate! Poco manca, ormai, perché si comprenda davvero il fenomeno della fecondazione, come unione di uovo e spermatozoo. Questa è osservata per la prima volta nel 1851 da Henry Nelson (1822-1875) nell'ascaride, il grosso verme parassita che negli anni seguenti diventerà un materiale d'elezione per lo studio della divisione nucleare. Nel 1879 Fol dimostra che un solo spermatozoo è necessario per la fecondazione di un uovo. Il raffinarsi delle tecniche permette nel 1854 a George Newport (1803-1854) di stabilire che il punto di entrata dello spermatozoo nell'uovo individua la polarità del futuro embrione. Questo

studio di Newport è considerato da qualche autore come l'atto ufficiale dell'embriologia sperimentale, una scienza destinata a spettacolari sviluppi qualche decennio più tardi.

Poco dopo (1869) Strasburger studia nelle felci il comportamento dei gameti maschili (gli anterozoidi, che sono piccoli e mobili come i tipici spermatozoi animali) quando entrano in contatto con i gameti femminili (le oosfere, paragonabili alle cellule uovo). Finalmente, Leopold Auerbach (1828-1897) osserva nel 1874 la fusione del nucleo gametico maschile con il corrispondente nucleo gametico femminile, nel corso della fecondazione. L'anno successivo Oscar Hertwig (1849-1922), in parallelo con Fol, Bütschli, Strasburger e van Beneden, identificherà senz'altro la fecondazione con la fusione del nucleo dello spermatozoo con quello dell'uovo. Nello stesso anno Hertwig introduce il riccio di mare come materiale sperimentale per le ricerche di citologia ed embriologia.

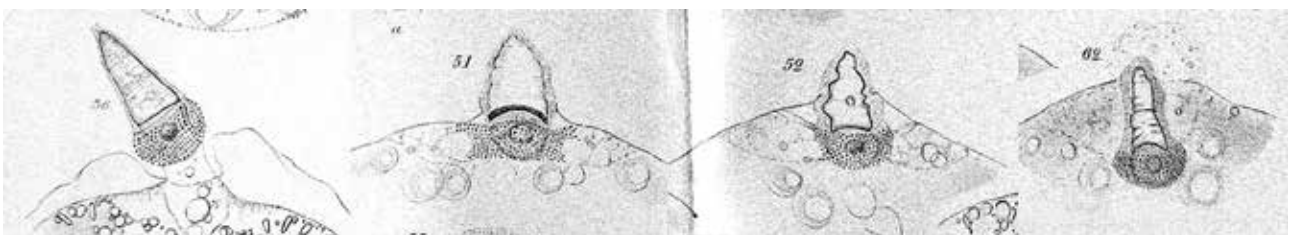
È possibile ora comprendere il significato dei globuli polari, che Carl Gustav Carus, come abbiamo ricordato, ha visto per la prima volta nel 1824. Bütschli scopre, nel 1876, che la loro comparsa è indotta dalla fecondazione e l'anno seguente Hertwig li riconosce come cellule, derivanti da una vera e propria divisione cellulare; divisione alquanto asimmetrica, peraltro, dal momento che l'altro suo prodotto è la cellula uovo.

Nel 1883 van Beneden, studiando anch'egli l'ascaride, osserva come la fecondazione porti ad un raddoppio del numero cromosomico, dal momento che i cromosomi portati dal nucleo dello spermatozoo si sommano a quelli portati dal nucleo dell'uovo. van Beneden nota altresì come il

contributo dei due gameti, ben diverso in termini di citoplasma (lo spermatozoo è infatti minuscolo, in confronto con l'uovo), è equivalente in termini di cromosomi. L'anno dopo Strasburger affermerà addirittura che il contributo dello spermatozoo alla costruzione dello zigote (uovo fecondato) è rappresentato unicamente dal suo materiale nucleare, cioè dai suoi cromosomi.

van Beneden osserva ancora come la divisione cellulare (che Flemming nel 1882 ha chiamato mitosi) dia origine a cellule figlie con un numero di cromosomi identico tra loro ed eguale a quello della cellula madre. Nel 1885, attraverso un ampio studio comparativo, Carl Rabl (1853-1917) conferma la costanza del numero cromosomico all'interno di ogni specie e ne trae la convinzione che i singoli cromosomi conservino la loro identità attraverso le vicende nucleari e cellulari.

Vi è però ancora un problema. Se le normali divisioni cellulari, come quelle che portano alla costruzione di un nuovo individuo a partire dall'uovo fecondato, prevedono la conservazione del numero cromosomico, questo si raddoppia alla fecondazione. Pertanto, come mai il numero dei cromosomi non raddoppia ad ogni generazione? La soluzione di questo problema viene dalle ricerche di Theodor Boveri (1862 - 1915) e di August Weismann (1834-1914). Il primo studia i processi di divisione che portano alla formazione della cellula uovo nell'ascaride, con la successiva emissione dei globuli polari, mentre Weismann introduce la nozione di divisione riduzionale in cui da una cellula di partenza, dotata di un certo numero di cromosomi, si producono cellule con numero cromosomico dimezzato.



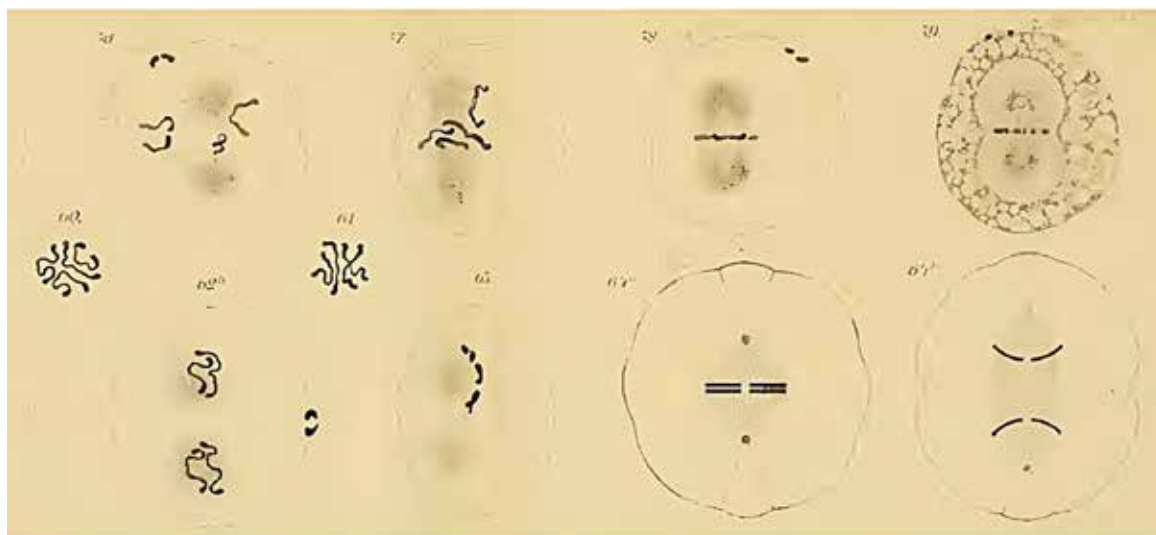
Momenti successivi della penetrazione dello spermatozoo nell'uovo di ascaride, osservati nel 1883 da Édouard van Beneden.

È appunto un processo di questo tipo, quello che porta alla formazione degli spermatozoi, oppure delle cellule uovo con i globuli polari associati, processi che chiamiamo, rispettivamente, spermatogenesi e ovogenesi e tra i quali, come Hertwig suggerisce esplicitamente nel 1890, esiste uno stretto parallelismo. Alla divisione riduzionale John Bretland Farmer (1865-1944) e John Edmund Sharrock Moore (1870-1947) daranno nel 1905 il nome di meiosi.

A questo punto, i conti tornano: come la fecondazione porta al raddoppio del numero cromosomico, così la divisione riduzionale che dà origine ai gameti ne garantisce il dimezzamento. Nel ciclo biologico della specie si alternano una fase a nu-

mero cromosomico aploide, come i gameti, e una fase a numero cromosomico diploide, come quella dell'animale nato dall'uovo fecondato.

Questa breve narrazione storica si interrompe con la fine del secolo XIX. Il Novecento vedrà, tra l'altro, l'avvento della microscopia elettronica, attraverso la quale sarà possibile spingere lo sguardo su dettagli incredibilmente fini dell'organizzazione dei viventi. Il vecchio microscopio ottico, però, non verrà messo da un lato, come oggetto ormai inutilizzabile, ma continuerà ad essere quel preziosissimo strumento d'indagine che ha dimostrato di essere lungo quattro secoli di storia. ●



Cromosomi e fasi della divisione cellulare dell'uovo di ascaride, da uno studio del 1888 di Theodor Boveri.

Matteo Serra
Dove va la fisica?
Codice edizioni, 2022



Lo scopo è concentrare l'attenzione sugli orizzonti più promettenti e affascinanti della ricerca fondamentale e di quella applicata, visti attraverso lo sguardo umano e professionale di ricercatori e ricercatrici che stanno recitando un ruolo da protagonisti nella fisica di questa seconda metà del secolo.

La ricerca in fisica corre sempre più ad alta velocità, non solo per andare a caccia di nuove grandi scoperte di tipo fondamentale sulla scia di quelle più recenti (come il bosone di Higgs e le onde gravitazionali), ma anche con obiettivi più strettamente pratici e applicativi, in ambiti oggi all'avanguardia come i sistemi complessi, l'informazione quantistica o la ricerca di nuovi materiali. Senza dimenticare il ruolo cruciale giocato dalla fisica in supporto a settori come la biologia e lo studio del clima, all'insegna di una caratteristica tipica della scienza contemporanea: la multidisciplinarietà. Per raccontare queste frontiere della ricerca, in *Dove va la fisica?* il giornalista scientifico Matteo Serra ha incontrato undici brillanti ricercatrici e ricercatori, che provano a immaginare cosa potrà accadere in futuro partendo dal loro lavoro nel presente. Il tutto arricchito da storie personali e riflessioni profonde sul significato stesso di essere ricercatori in fisica oggi.

L'architettura delle api sociali

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

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

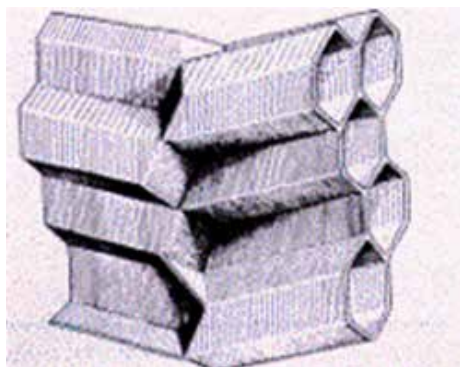
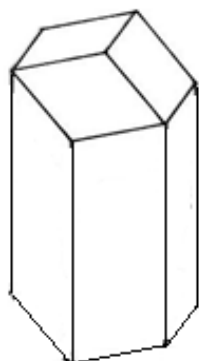
Piero Sagnibene

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

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



Le vele di Scampia a Napoli



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

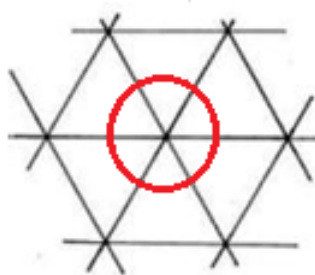
Prismi esagonali

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

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

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

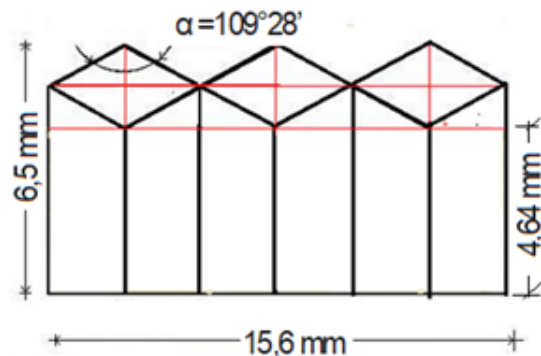
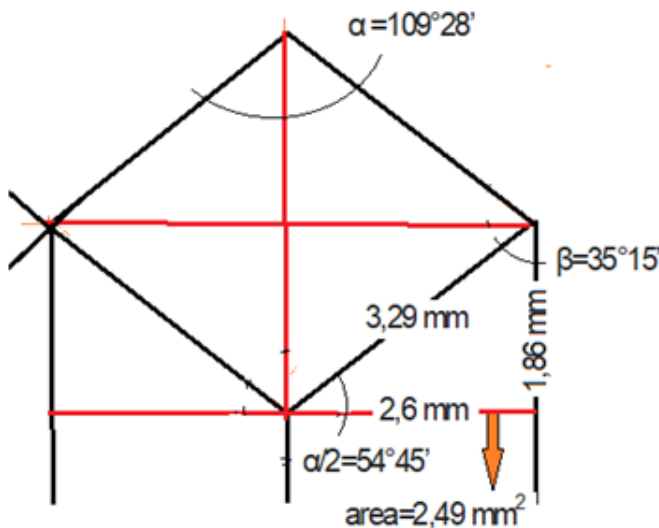
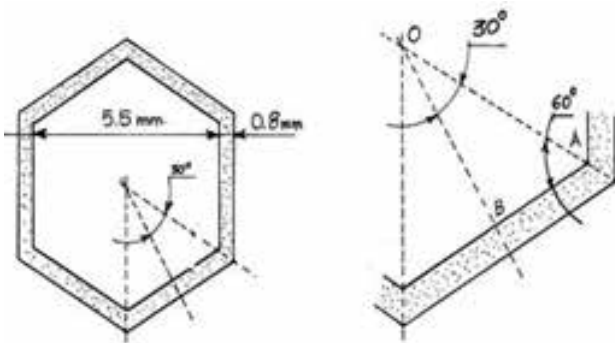
Non credo che le api sappiano di Platone, ma fu lui a dire che per comporre, ad esempio, un pavimento, in modo che non vi siano vuoti tra una mattonella e l'altra, vi sono tre sole possibilità: o mattonelle quadrate, o triangoli equilateri oppure esagoni, in modo che, unendole, si possa formare un angolo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



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

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

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

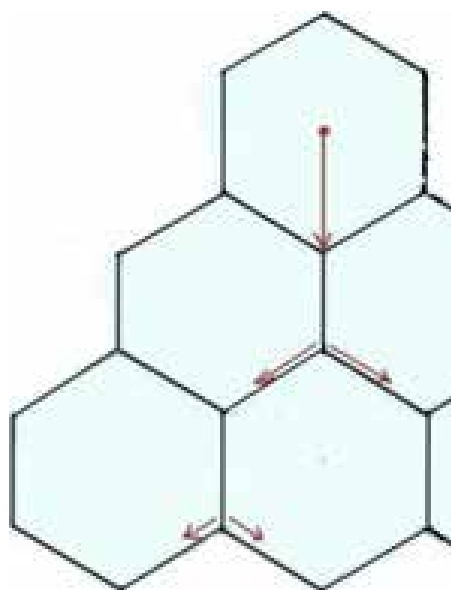


117,20 mm². Lo spessore della parete della celletta d'ape cella è circa 0,8 mm, ma ciascuna parete è in compartecipazione con le altre celle, quindi dobbiamo assumerne la metà dello spessore, 0,4 mm, per cui occorrono circa 47 mm³ di cera a cella.

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

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

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



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

Mediamente un favo è composto da circa 30.000-50.000 celle, poniamo mediamente 40 000; ciò significa che per un singolo favo saranno necessari circa 1,9 dm³ di cera. La cera ha un peso specifico medio di 0,962 Kg/litro (tra 0,948 e 0,976 Kg/litro) per cui ne occorrono circa 1,8 litri per costruire un singolo favo. La cera costituisce solo il 10% del volume che essa definisce, un rendimento molto prossimo a quello dei materiali edilizi utilizzati dall'architettura degli uo-

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

Costruire con la cera

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

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

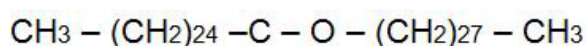
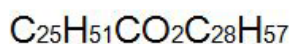


Le scagliette hanno all'incirca la forma e la grandezza dello specchio, spessore 0,5 mm. Ciascuna scaglia ha un peso medio da 0,6-0,8 mg con punte fino a 1,2 mg per cui un kg di cera richiede mediamente circa 1.250.000 scaglie, corrispondenti al lavoro di secrezione di circa 150.000 api ed al consumo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

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

Tipi di celle

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



CERA

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

Intelligenza sociale

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

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

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

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

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

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

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

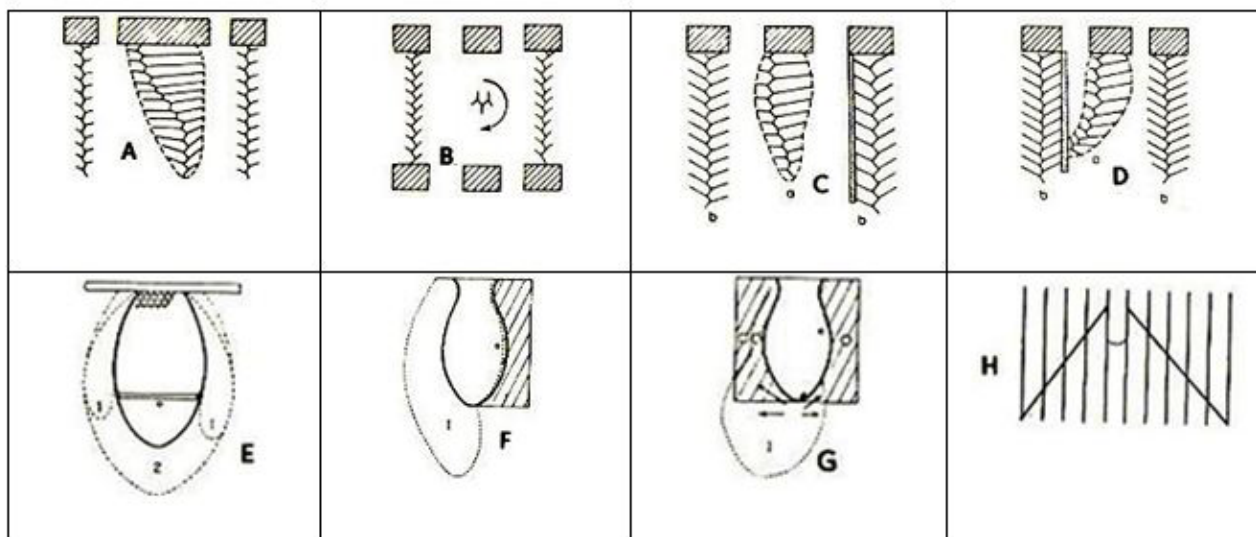


U. Il tracciato delle catene ceraie che, l'indomani, costruiranno i nuovi favi, indicati dalle linee punteggiate (da Darchen).

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

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

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



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

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

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

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



Un esperimento con le api

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

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

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

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

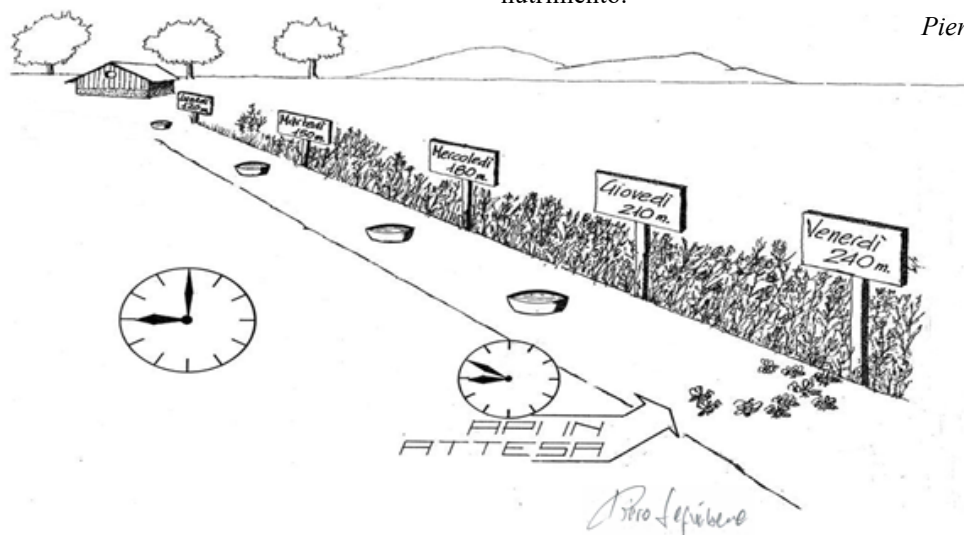
la fornitura di acqua dolcificata.

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

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

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

Piero Sagnibene



Biodiversità e Musei: un progetto espositivo pluriennale

Simone Farina

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

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

La parola “biodiversità”, oggi di uso comune e spesso abusata nei media, è una parola relativamente recente, usata per la prima volta nel 1986 in un documento destinato al Congresso Americano. Su richiesta di un senatore, ne fu richiesto il preciso significato attraverso una procedura ufficiale culminata con l’intervento di una commissione tecnica ufficiale, l’OTA (U.S. Office of Technological Assessment), che nel 1987 la definì con queste parole¹: “La biodiversità si riferisce alla varietà degli organismi viventi e alla variabilità che esiste sia tra di essi sia tra i complessi ecologici in cui si trovano. Essa può essere definita come numero e frequenza relativa di oggetti diversi, organizzati a molti livelli, dagli ecosistemi completi alle strutture chimiche che costituiscono la base dell’eredità. Perciò il termine comprende diversi ecosistemi, specie, generi e la loro abbondanza relativa”².

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

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



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

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

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

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

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

Le specie sono classificate secondo sette categorie, dal rischio minimo di estinzione fino all'estinzione totale, sulla base di alcuni criteri che vanno dal tasso di declino, alla consistenza della popolazione, all'area di distribuzione geografica. Secondo l'ultimo report del 2021, oltre 40.000 specie (tra animali, piante, funghi e protisti), pari al 28% circa delle specie che sono state valutate, sono minacciate di estinzione. Se consideriamo soltanto i vertebrati, possiamo constatare come il 26 % dei mammiferi, il 13 % degli uccelli, il 21% dei rettili, il 41 % degli anfibi ed il 14,7% dei pesci (la percentuale aumenta sensibilmente se consideriamo solo i pesci cartilaginei) siano minacciati di estinzione³.

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

Negli ultimi 50 anni la Terra è stata trasformata dall'esplosione del commercio globale, dei consumi e della crescita della popolazione umana che ha determinato un forte incremento dell'urbanizzazione. Queste tendenze di fondo stanno portando alla distruzione e al degrado della natura, nonché al sovrasfruttamento delle risorse naturali a un ritmo che non ha precedenti⁴.

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

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

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

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

sibilità di vivere in un luogo sostenibile dal punto di vista ambientale, sociale, economico. L'Agenda è costituita da 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile, tra i quali l'obiettivo 13 (lotta contro il cambiamento climatico), l'obiettivo 14 (conservare e tutelare la vita sott'acqua) e l'obiettivo 15 (proteggere e tutelare la vita sulla terra) sono strettamente connessi con le tematiche legate alla tutela e alla salvaguardia della biodiversità.

Guardando all'interno dei confini nazionali, un passo significativo è stato fatto lo scorso febbraio, quando la Camera dei deputati ha definitivamente approvato il disegno di legge che introduce la tutela dell'ambiente e della biodiversità nella Costituzione modificandone gli articoli 9 e 41⁵.

L'articolo 9 rientra tra i principi fondamentali e, prima della riforma, era composto da due commi:

- *La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica.*

- *Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione.*

La riforma ha introdotto un ulteriore comma:

- *Tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni.*

La legge dello Stato disciplina i modi e le forme di tutela degli animali.

Questa modifica di fatto inserisce la tutela dell'ambiente tra i principi fondamentali e per la prima volta viene introdotto nella Costituzione il riferimento alla fauna.

L'articolo 41 della Costituzione si trova nella parte dedicata ai "diritti e doveri dei cittadini", nel titolo III, rubricato "rapporti economici" ed è stato modificato aggiungendo i riferimenti alla salute e all'ambiente nel secondo comma. L'articolo riporta che l'iniziativa economica è libera ma "non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale o in modo da recare danno alla salute, all'ambiente, alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana".

Questa necessaria premessa sottolinea come il tema della biodiversità sia estremamente vasto e non

semplice da analizzare, viste le sue numerose implicazioni. Per questo motivo quando si decide di trattarlo, ad esempio attraverso la realizzazione di un allestimento in un Museo di Storia Naturale, bisogna definire in modo chiaro gli obiettivi e cercare di fare delle scelte dando priorità ai temi che si vogliono comunicare.

Per questo stesso motivo, al Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa abbiamo sviluppato un programma di sei anni (2017-2022) che ha previsto la realizzazione di nuove sale e il completo rinnovamento di tutti gli allestimenti dedicati ai mammiferi con l'idea di trattare il tema della biodiversità a step progressivi in modo da aggiungere in ogni allestimento un elemento in più. Siamo però partiti da un minimo comune denominatore che avrebbe riguardato tutti gli allestimenti, cioè il fatto di comunicare lo stato di conservazione di ogni animale, in modo da far capire al visitatore la quantità di specie a rischio di estinzione presenti sulla Terra. Abbiamo quindi deciso di associare ad ogni esemplare in esposizione un cartellino o una scheda presente nelle postazioni multimediali in cui, oltre alle informazioni di base (nome scientifico, nome comune, areale di distribuzione, collezione di appartenenza e breve descrizione), è presente lo stato di conservazione valutato dalla IUCN (Fig. 1).



Fig. 1: Esempio dei cartellini associati ad ogni esemplare in esposizione e, in alto, le categorie della "Lista Rossa" della IUCN (Lc – rischio minimo; Nt – Prossimo alla minaccia; Vu – Vulnerabile; En: Minacciato; Cr – Criticamente minacciato; EW – Estinto in natura; Ex – Estinto).

5. Legge Costituzionale 11 febbraio 2022, n.1: modifiche agli articoli 9 e 41 della Costituzione in materia di tutela dell'ambiente (Gazzetta Ufficiale. n. 44 del 22 febbraio 2022).

Abbiamo quindi individuato il tema della minaccia alla biodiversità come filo conduttore di tutti i nuovi allestimenti e come tema assolutamente imprescindibile della nostra strategia comunicativa. Le prime sale che sono state inaugurate, nel 2018, sono state la nuova Galleria dei mammiferi che comprende Monotremi (ornitorinco ed echidna), Marsupiali, Xenartri (bradipi, formichieri e armadilli) Foliodoti (pangolini), Carnivori e Ungulati (Artiodattili e Perissodattili), e la nuova Galleria dei cetacei.

In queste sale abbiamo voluto affrontare il tema della *biodiversità come varietà di specie* presenti sul nostro Pianeta cioè, come riportato in precedenza, quello più familiare al grande pubblico, cercando quindi di esporre il maggior numero di specie possibili e realizzare allestimenti di grande impatto e di grande rilievo scientifico.

Con quasi 300 esemplari esposti secondo un criterio sistematico, la nuova Galleria dei mammiferi vuole dare un'idea dell'enorme biodiversità dei mammiferi nel mondo e sensibilizzare i visitatori alla conservazione delle specie in natura, spesso minacciate dall'azione dell'uomo (Fig. 2). Infatti, è possibile osservare alcune specie estinte in natura come l'orice dalle corna a scimitarra, altre criticamente minacciate di estinzione come l'addax, o antilope dalle corna a vite, ed altre a

rischio di estinzione come il nyala di montagna, l'eland (la più grande antilope esistente al mondo), la tigre, il leopardo e il pangolino indiano.

Lo stesso tipo di approccio è stato applicato anche alla nuova Galleria dei cetacei nella quale, oltre ai numerosi scheletri già presenti in esposizione, sono stati aggiunti alcuni esemplari prima conservati nei depositi, tra cui uno scheletro completo di balenottera boreale. Con queste aggiunte la galleria è arrivata ad ospitare 28 scheletri (di cui 27 completi) di cetacei appartenenti a 26 specie diverse ed è l'unica al mondo ad avere in esposizione gli scheletri dei tre animali più grandi del Pianeta cioè la balenottera azzurra, la balenottera comune e, appunto, la balenottera boreale.

Con la Galleria dei primati, inaugurata nel 2019, abbiamo voluto introdurre il concetto di *biodiversità a livello di ecosistema*, per far capire che la ricchezza della vita sulla Terra non riguarda soltanto le specie esistenti, ma anche la distribuzione e le relazioni tra tutte le componenti del sistema, inclusi ovviamente gli altri animali.

Per questo motivo, abbiamo deciso di organizzare la sala in due parti: una, in continuità con la Galleria dei mammiferi, con l'esposizione secondo un criterio sistematico di un gran numero di specie di primati, tra le quali otto specie criticamente minacciate di estinzione, e l'altra con l'obiettivo



Fig. 2: Dettaglio del settore della Galleria dei mammiferi dedicato agli ungulati.



Fig. 3: Gruppo geografico dedicato alla foresta tropicale del Borneo in cui è possibile osservare una parte di foresta abbattuta per fare spazio alle piantagioni di palma da olio.

di mostrare la ricchezza degli ambienti naturali in cui vivono i primati e la fragilità di questi delicati ecosistemi.

Sono stati quindi realizzati cinque grandi gruppi geografici (cioè ricostruzioni di alcuni degli ambienti naturali dove vivono i primati): la foresta sudamericana della Guyana, le zone di foresta e di savana africane (dal Gabon al Camerun), la foresta spinosa del Madagascar dove vive il famoso lemure dalla coda ad anelli, la foresta tropicale dell'India sud-occidentale e infine la foresta del Borneo settentrionale, nella regione di Sabah. In queste ricostruzioni è possibile osservare non soltanto alcune specie di primati, ma anche altre specie di mammiferi, uccelli, rettili, anfibi oltre a invertebrati come coleotteri e farfalle e alla flora che vive in queste regioni. Inoltre, nella ricostruzione della foresta del Borneo, abbiamo voluto introdurre il principale fattore di minaccia alla biodiversità, cioè l'uomo, rappresentando la deforestazione di molte foreste tropicali, dal Sud Est asiatico al Sud America all'Africa, per realiz-

zare piantagioni di palme da olio (Fig. 3).

L'impatto dell'uomo sull'ambiente e sulla biodiversità è stato un argomento che abbiamo scelto di approfondire ulteriormente anche attraverso la realizzazione di una mostra temporanea, totalmente autoprodotta e progettata in collaborazione con l'Istituto di Scienze Marine (ISMAR –CNR) di Lerici e con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Roma 2) sede di Portovenere, dal titolo "La plastica e noi"

Visitabile da luglio 2020 a giugno 2021, la mostra è stata organizzata all'interno della Galleria dei cetacei del Museo, con allestimenti creati con rifiuti in plastica a simboleggiare l'inquinamento dell'ambiente marino, oltre a vari exhibit dedicati al tema. Oltre a presentare dati rilevanti sull'inquinamento e alcuni risultati delle ultime ricerche svolte sulle nostre spiagge, la mostra si proponeva di far riflettere sul nostro rapporto con la plastica, sui danni che la plastica può causare al nostro ecosistema e su cosa noi possiamo fare per limitarli⁶.

6. Battaglini S., Bonaccorsi E., Dellacasa M., Farina S., Locritani M., Merlino S., Scaglia S., Sorbini C., *La Plastica "in mostra" al Museo di Storia Natura-*

le dell'Università di Pisa: riflettere e comunicare, Naturalmente Scienza, volume 1: 44-51, 2020; Farina S., Sorbini C., Scaglia P., Dellacasa M., Battaglini

S., Locritani M., Merlino S., Marchi D., Bonaccorsi E., *La plastica e noi: una mostra per educarci alla responsabilità (realizzata nonostante il lockdown)*, Museologia

Scientifica, Memorie, Numero speciale online *Atti del Congresso ANMS 2020 I Musei Scientifici Italiani nel 2020*: 206-210, 2021.

Con la “Sala della Biodiversità”, inaugurata nel novembre del 2021, abbiamo voluto portare il concetto di *biodiversità a livello di ecosistema* su scala globale, con l’obiettivo di illustrare la ricchezza della vita sulla Terra.

Per questo motivo, attraverso un allestimento di grande impatto visivo, abbiamo deciso di non ricostruire aree specifiche del Pianeta come avevamo fatto per la Galleria dei primati, ma di accompagnare i visitatori attraverso un percorso espositivo alla scoperta della fauna di cinque continenti: Africa, Asia, Europa, Australia e America. Nella sala sono presenti 82 animali (tra rettili, uccelli e mammiferi) preparati in tassidermia e disposti all’interno dei loro ambienti naturali che il visitatore attraversa percorrendo una passerella di forma ovale che gli permette di ammirare i diversi ambienti e di osservare a distanza ravvicinata esemplari iconici come la giraffa, l’elefante africano, l’elefante asiatico, il giaguaro, il cocodrillo e il rinoceronte (Fig. 4).

Per favorire un approccio emozionale e immersivo abbiamo deciso di non utilizzare barriere che separano gli animali dai visitatori e ridurre il più possibile la presenza di pannelli esplicativi, eliminando anche i cartellini associati ad ogni esemplare. I contenuti di approfondimento sono

stati trasferiti su una piattaforma multimediale con la quale è possibile interagire direttamente dal proprio dispositivo mobile per visualizzare le caratteristiche di ciascuno degli esemplari presenti nella sala ed il suo stato di conservazione.

Inoltre, la parola “biodiversità” tradotta nelle principali lingue del mondo, accoglie i visitatori all’ingresso della sala, ricordando che il tema ha una portata globale e riguarda tutti noi.

A conferma di questo impegno, il Museo aderisce alla Coalizione globale per la biodiversità #UnitedforBiodiversity, promossa dalla Commissione Europea con l’obiettivo di una forte azione di sensibilizzazione sull’importanza della protezione della biodiversità.

Per raggiungere questo obiettivo e far comprendere ad un pubblico più vasto possibile come queste tematiche ci riguardano molto da vicino, è stato anche organizzato un ciclo di conferenze in streaming sul tema della biodiversità e conservazione dei vertebrati in Toscana, affrontando esempi concreti di gestione e conservazione.

Infine, l’ultima tappa di questo progetto espositivo, che sarà portata a termine nell’anno in corso, prevede la realizzazione di una sala tematica su un gruppo limitato di animali, nello specifico gli orsi.



Fig. 4: Alcuni dettagli della Sala della Biodiversità.

L'obiettivo di questo nuovo allestimento sarà quello di arrivare a trattare nel dettaglio la famiglia degli ursidi affrontando il tema della biodiversità a livello di specie. Saranno affrontati esempi di conservazione di alcune specie di orsi, come ad esempio l'orso marsicano, il mammifero italiano più minacciato con una popolazione stimata ridotta a circa 50 individui e distribuita nell'area del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise.

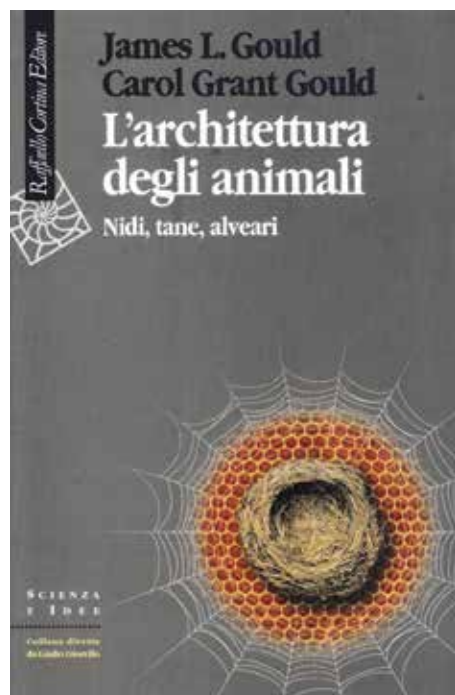
L'allestimento presenterà approfondimenti sul rapporto tra la nostra specie e gli orsi, trattando il ruolo che hanno avuto gli orsi storicamente nell'immaginario collettivo, dalle figure "positive" dell'orsacchiotto di peluche e dei protagonisti di molte storie per bambini alle rappresentazioni "negative" del terribile "orso che uccide" presente in molti film.

Infine, ma non certo per importanza, il progetto espositivo della sala degli orsi prevede anche di dedicare uno spazio agli orsi fossili, in particolare modo a quelli ritrovati in Toscana, per far capire come il tema della biodiversità e del suo studio riguarda anche il passato, che spesso rappresenta la chiave per comprendere meglio il presente e intraprendere azioni legate alla conservazione e alla reintroduzione in natura di alcune specie. ●

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare il professor Roberto Barbuti, la professoressa Elena Bonaccorsi e il professor Damiano Marchi per aver sostenuto, incoraggiato e reso possibile questo progetto espositivo, tutte le colleghe e i colleghi del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa che hanno contribuito a realizzarlo e Chiara Sorbini, Patrizia Scaglia e Marco Dellacasa per la lettura critica dell'articolo.

James L. Gould e Carol Grant Gould,
L'architettura degli animali.
Nidi, tane, alveari
Milano, Raffaello Cortina Editore,
2007



Si tratta di un libro affascinante per due aspetti. In primo luogo, perché illustra, come promette il titolo, le straordinarie architetture degli animali – non solo, come recita il sottotitolo, “nidi, tane, alveari”, anche ragnatele, formicai, dighe, giardini – spiegandone le tecniche di costruzione. In secondo luogo, perché propone un’accurata indagine dei meccanismi neurali e cognitivi implicati in queste attività. Come spiegano gli autori, fino a un secolo fa “gli studiosi del comportamento animale ragionavano in termini semplicistici di *aut aut*: un animale agiva servendosi dell’istinto o dell’apprendimento. Oggi sappiamo che la maggior parte del comportamento attinge abbondantemente a entrambe le strategie, e ad altre prima nemmeno considerate”.

Perfino comportamenti molto semplici come la produzione di “filamenti guida” e di involucri di seta di alcuni bruchi comportano una mappatura del territorio circostante. Per non parlare delle più complesse reti realizzate dalle larve dei tricoteri e delle ragnatele.

Due capitoli sono dedicati agli insetti sociali ed eusociali (vespe e formiche il cap. 4, api e termiti il cap. 5), alle loro formidabili e complicate costruzioni e all’“intelligenza sociale” di queste specie: “Un invertebrato sociale richiede centinaia di moduli comportamentali, organizzati in modo gerarchico ma dotati anche di quel fine e preciso equilibrio tra diversità e somiglianza quando il gruppo si avvia al lavoro [che comporta] facoltà intellettive estremamente sviluppate”.

Tre capitoli si occupano poi dei nidi di uccelli, da quelli “senza pretese” a quelli sofisticati che non comportano solo la capacità di “modellare, feltrare e tessere”, ma in alcuni casi anche decorare creando giardini e viali (gli uccelli giardinieri) e mostrando non solo discernimento intellettuale, ma anche senso estetico.

Il cap. 9 prende in considerazione l’“ingegneria civile” dei castori, che richiede processi mentali che decisamente travalicano l’istinto e l’apprendimento. Al punto da richiedere un confronto con la mente umana, argomento che conclude il libro.

Maria Turchetto

Insegnare per far capire

Paolo Guidoni

On September 10, 2014, Prof. Paolo Guidoni participated as a teaching consultant in the first summer school for teachers organized by the didactic section of the Natural History Museum of the University of Pisa. “School goes to the Museum” was the experimentation of an annual scientific education on museum resources and involved about 120 teachers. Paolo Guidoni brought his own testimony, with a long research experience from kindergarten, conducting a passionate reflection on the relationship that students build with school scientific culture. The speech was recorded, transcribed and then revised by the author.
Keywords: *Natural History Museum of the University of Pisa, Scientific education*

Per circa metà della mia vita attiva sono stato un fisico delle particelle elementari, e l'altra metà l'ho trascorsa, sempre rimanendo in un Dipartimento di Fisica e insegnando fisica, a cercare di capire come fanno le persone, grandi e piccole, a capire e a non capire, in particolare scienze e matematica. Ormai ho passato migliaia di ore in classe, dalle scuole d'infanzia alle elementari, medie, secondarie, cercando di seguire anche per molti anni consecutivi quello che succede. Vorrei cercare di fare fra noi, in quanto umani, un discorso fra umani: umani gli insegnanti che insegnano, umani i ricercatori-mediatori del museo, ma soprattutto umani quelli che oggi non ci sono, gli allievi, dai tre ai ventiquattro anni. Si tratta infatti di intendersi bene su cosa succede a un umano quando interagisce cognitivamente con la realtà e con altri umani. Inoltre, vorrei fare un discorso astratto, cioè indipendente da contesti specifici, perché a volte è necessario. E l'unico modo di cominciare un discorso astratto è con un esempio concreto.

Un esempio di “appropriazione cognitiva”

L'esempio che faccio è quello del macaco, una scimmia giapponese. Con l'impegno di anni di lavoro e con un investimento tecnologico fino a poco



tempo fa inaudito, un gruppo di ricerca coordinato da Atsushi Iriki¹ si è occupato di scoprire cosa succede nella testa di un macaco quando impara qualcosa. Di fronte a un qualunque essere vivente complesso (macaco, bimbo o adulto che sia), ci sono diversi modi di interazione cognitiva possibile. Molto schematicamente, si va dal condizionamento secco (si può condizionare quasi chiunque), all'addestramento finalizzato, a quell'*imparare a imparare* che Gregory Bateson² esemplifica proprio negli animali. L'esempio dei macachi giapponesi vuole portare l'attenzione su un'idea fondamentale: quella di appropriazione della conoscenza. Nel cervello dei macachi, così come in quello degli umani e di buona parte degli animali, c'è un'area chiamata "schema corporeo": una parte di cervello in cui, fisicamente, è rappresentato, potremmo dire duplicato, tutto il corpo attraverso le sue terminazioni sensorie. Così una parte di cervello rappresenta le labbra, una parte le orecchie, i gomiti, le braccia, le mani, le dita... In altre parole, lo schema corporeo del macaco è, in qualche modo, la "rappresentazione incarnata", per quanto non cosciente, della sua identità: un luogo fisico in cui viene riflesso "lui chi è", o meglio, lui chi può essere-diventare nella sua interazione con il mondo. Nel corso dell'esperimento il macaco riceve un rastrello e viene prima condizionato-addestrato a usarlo: ad esempio, per prendere una banana che sta troppo in alto per acchiapparla con le mani. Il macaco è molto intelligente e impara rapidamente. Dopo un po', c'è un passaggio dal condizionamento all'addestramento che è fondamentale: il macaco viene anche addestrato a servirsi del rastrello per altri scopi, per esempio recuperare qualcosa finito sotto un mobile. Chiunque abbia avuto figli, o abbia giocato abbastanza con i bimbi piccoli, si è reso conto che anche lo sviluppo di un bambino passa attraverso fasi simili. Dopo alcuni addestramenti di questo tipo, che si succedono sem-

pre più rapidi perché il macaco impara sempre più velocemente, succede un evento che non è esagerato definire grandioso. Qualunque condizionamento-addestramento, infatti, produce una sua immagine fisica nel cervello: una parte (*area*) specifica di cervello subisce cioè una trasformazione più o meno stabile. Ma a un certo punto nella testa del macaco l'*area rastrello* viene connessa direttamente con lo schema corporeo: lo schema corporeo del macaco, che comprende spalle, braccia, mano, dita... ora comprende anche il rastrello. Il macaco vive la sua identità di macaco, cioè la totalità dei suoi comportamenti potenziali, con un rastrello attaccato alla mano. Come appena detto, potrebbe venirci da pensare che questo lo sappiamo già: chiunque impari ad adoperare uno strumento - pensate a un coltello - prima è maldestro e anche si taglia, poi smette di tagliarsi, infine è in grado di adoperarlo con flessibilità contestuale e precisione di scopo. Ma in realtà si tratta di qualcosa di sconvolgente. Questo esempio vorrei assumerlo come base di una definizione operativa ("macachesca", in questo caso) di *appropriazione cognitiva*. Il problema che ci dobbiamo porre, come insegnanti, come umani, è infatti: quando mi trovo davanti a un ragazzino e, attraverso acrobazie e peripezie inenarrabili gli insegno, ad esempio "le proporzioni", questo ragazzino si appropria o no di questo contenuto concettuale? Cioè, succede o non succede che questo iniziale addestramento a risolvere determinati problemi preconfezionati guardando/vedendo sé e il mondo in un certo modo diventi a un certo punto parte del suo modo di essere lui, della sua identità di umano fra umani? E che lui ne diventi cosciente al punto da cambiare le sue strategie complessive di osservazione elaborazione e valutazione del mondo? Perché poi, mentre il macaco se ne va in giro per il mondo con il rastrello sotto braccio, l'*area rastrello* non è connessa allo schema corporeo.

1. https://scholar.google.it/scholar?q=ATSUSHI+IRIKI&hl=it&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

2. Bateson G, *Verso un'ecologia della mente*, Milano, Adelphi, 1979.

Ma appena il macaco nota una situazione in cui, forse, il rastrello potrebbe essergli utile, l'*area rastrello* viene agganciata allo schema corporeo e, qui sta il punto, il macaco diventa conseguentemente creativo: comincia cioè ad adoperare il rastrello anche in situazioni alle quali non è stato addestrato dai ricercatori.

“Stifling”

C'è dunque un problema colossale di appropriazione della cultura trasmessa. Siamo in grado/abbiamo voglia di guardare, di accorgerci, di dire se un ragazzino cui abbiamo insegnato le proporzioni è capace di adoperarle in modo creativo e di comportarsi di conseguenza? Ma cosa significa “adoperarle in modo creativo”? Significa che quando osserva, si coinvolge, valuta, progetta ... può trovarsi a considerare per evocazione dal contesto, o per imposizione autonoma se non sarebbe utile “comportarsi per proporzioni”. Che vuol dire tutt'altro, quindi, dal trovare il quarto giusto di fronte a tre numeri scaraventi su un pezzo di carta. Quando una bambina a scuola d'infanzia si trova con una barbie in una mano e un paio di mutande da bambola nell'altra, capisce abbastanza presto che non può mettere le mutande da bambola alla barbie se sono troppo grandi: non sta certo scrivendo una proporzione, ma sta guardando per proporzione.

Allora c'è questo primo problema, cruciale: gli esseri umani che abbiamo davanti si appropriano o no della conoscenza che cerchiamo di mediare come mediatori culturali? E comunque non è necessario che tutta la conoscenza venga appropriata: un individuo deve saper distinguere quali sono i pezzi di conoscenza di cui si può/deve appropriare, che cioè devono diventare potenzialmente parte di lui (come il macaco che va sempre in giro con il rastrello sotto braccio, pronto a sfoderarlo e a integrarlo alla prima occorrenza), e quali sono le altre conoscenze da utilizzare solo in determinate circostanze. Queste considerazioni illuminano anche il significato di un documento di qualche anno fa, scritto a livello di Comitato Europeo per la gestione della ricerca sull'insegnamento, che nero su bianco

riporta questa frase: “È ormai evidente che i modi di insegnare, in particolare scienze e matematica, nei primi anni di scolarizzazione, in prevalenza e al di là delle intenzioni, producono “stifling” (soffocamento) delle potenzialità di curiosità, creatività, iniziativa, apertura al nuovo, disponibilità a interagire col diverso, potenzialità che sono inizialmente e naturalmente patrimonio di tutti i bambini”. È un problema serio. Se le conoscenze che vengono proposte in certe forme, con certi modi, in certe sequenze, con certi controlli, non vengono percepite e accolte come qualcosa di utilmente appropriabile per i propri scopi vitali vengono respinte. Non basta parlare, più o meno a caso, di motivazione. Spesso i ragazzini che si rifiutano di imparare stanno infatti esercitando non solo un diritto, ma un dovere biologico fondamentale: nel momento in cui un organismo avverte una potenzialità di offesa alla sua attuale identità, qualcosa che non può essere appropriato o che può addirittura essere pericoloso per la vita com'è, qualcosa che soffoca l'identità potenziale, giustamente rifiuta, combatte, quel qualcosa. (Non ci suggerisce niente il funzionamento, così essenziale, del sistema immunitario?). Di chi è la colpa? Verga diceva: “Non c'è colpa né peccato nelle cose come stanno”, però bisogna guardarle, le cose come stanno. E le cose stanno così. Stamane, nel corso di una relazione, è stato detto: “I ragazzini che normalmente non partecipano attivamente all'attività didattica, in certe occasioni, come la visita al museo o allo stagno, diventano coinvolti”. Bellissimo. Ma cos'è che fa pensare, in questa frase? La parola *normalmente*. È “normale” che ci sia qualcuno che “normalmente” non è coinvolto nell'apprendimento e che la cosa sia socialmente “normale”? La *Metafisica* di Aristotele si apre con una frase fondamentale: “Tutti gli uomini, per loro natura, provano il desiderio di conoscere”. Quindi, sillogisticamente, se qualcuno è messo in condizioni di non provare il desiderio di conoscere, quello che gli sta succedendo è contro la sua natura umana e quindi in grado di attivare, sia pure paradossalmente, le sue difese naturali.

Accomodamento, assimilazione, equilibratura

Questo dell'appropriazione non è affatto un discorso nuovo. È un discorso, anzi, vecchissimo che attraversa tutta la riflessione occidentale e orientale. E la parola stessa ricorre frequentemente, anche se in modi poco enfatizzati, nelle ricerche sulla dinamica cognitiva. Solo per esempio, appropriazione ci ricorda cose che Jean Piaget ha scritto negli anni '30, cose che le persone hanno finito per dimenticare sotto il diluvio delle cose pensate e scritte in seguito. Quando infatti Piaget parla della dinamica di acquisizione di una conoscenza nuova, distingue pulitamente tre componenti del processo complesso: *accomodamento*, *assimilazione* ed *equilibratura*. Il problema di Piaget è non essersi accorto che le diverse componenti, proprio in quanto tali, devono essere reciprocamente risonanti.

Accomodamento significa che chi ha voglia di conoscere qualcosa di nuovo realizza il fatto che se non gli si cambia qualcosa da dentro, non ce la fa. Non ce la fa a fare cosa? Ad *assimilare* il nuovo, elaborandolo fino a renderlo simile a qualcosa che già c'è: l'unico modo per assimilare qualcosa che è fuori è infatti prenderla e trasformarla fino a renderla simile a qualcosa di noi. Ciò che accade nel cervello rispetto a ciò che sta fuori è sconvolgente anche se analogo, come notato da Piaget, al modo in cui la fisiologia di un organismo lo nutre: la realtà viene fatta a pezzi, sbriciolata, basti pensare

a che cosa succede, ad esempio, nella percezione visiva: un finimondo. Ma alla fine la realtà proiettata nella visione viene non solo rimessa insieme in quanto tale, ma contestualmente assimilata alla nostra comprensione globale. E anche se Piaget non lo dice esplicitamente, è cruciale rendersi conto che *accomodamento* e *assimilazione* devono avvenire in risonanza reciproca: perché, se io mi accomodo, mi costruisco una pre-strutturazione interna, in una forma tale da rendermi incapace di assimilare, è la fine, la dinamica si blocca. I ragazzini cambiano sulla base delle cose che noi insegniamo loro, ma basta guardarli per rendersi conto di quando/quanto lo fanno anche in direzioni contrarie all'apprendimento significativo cercato da chi insegna. Ma bisogna avere occhi per accorgersene, presto, se no tutto si aggroviglia. La fase di *equilibratura* è cruciale nella costruzione di conoscenza. Il punto è quello che, nel linguaggio della fisica, viene detto con parole tecniche: qualunque sistema che interagisce con l'esterno interagisce in una certa zona d'interazione, nella quale cambiano al tempo stesso una parte dell'esterno e una parte del sistema. Dopodiché, in termini fisici, si dice che il sistema subisce un "rilassamento": questo significa che il sistema, dal momento che è strutturalmente vincolato da un'esigenza di coerenza interna, pian piano cerca di riaggiustarsi in modo complessivo in condizioni di nuova coerenza, attraverso interazioni più o meno estese fra le sue parti e i



suoi modi di funzionare. Per cui, se sembra che in un giorno i nostri allievi abbiano imparato la divisione di un organismo in apparati, o la divisione a tre cifre, prima che digeriscano davvero queste divisioni possono passare anni. E qualunque insegnante – o mediatore di cultura – deve esserne consapevole: deve stare dietro a queste dinamiche a lungo termine, sempre ulteriormente complicate dal fatto che contemporaneamente il sistema conoscenza continua a modificarsi sulla base di sempre nuovi stimoli.

Lungimiranza

L'appropriazione è il risultato di questa dinamica complessa, lenta e veloce al tempo stesso. Quanto ci vuole per appropriarsi di un nuovo sapere? Si può cominciare da due minuti e andare avanti per anni. E questo non significa che le cose vadano insegnate ciclicamente sempre come nuove per cui un tempo si sentiva il bisogno di insegnare, ad es. per tre volte le guerre puniche o il corpo umano. Il problema non è questo. Il problema è quel che succede alla dinamica cognitiva (alla mente, qualcuno dice) nel concreto della formazione finalizzata scolastica e non. C'è infatti nei processi di *accomodamento-assimilazione-equilibrato* di appropriazione progressiva, un evidente aspetto paradossale, rispetto a cui nella letteratura di ricerca sull'apprendimento si trovano posizioni estreme. Ci sono per esempio tutti i lavori raccolti dalla rassegna "Taking Science to School"³ in cui si sostiene che per arrivare a capire cose importanti, ma complicate (si discutono a fondo alcuni esempi: la biologia dal punto di vista dell'evoluzione; la struttura fina della materia, inorganica e negli organismi viventi...) ci vogliono progetti di intervento didattico coerente, che non sono definibili in termini di mesi e neanche anni. Devono essere progetti sistematicamente lungimiranti: in cui, dalla scuola d'infanzia in poi, si ha in men-

te l'obiettivo a lunghissimo termine (come sono fatte le cose dentro, come siamo finiti a essere così, noi e il mondo ...), e quindi si introducono via via gli ingredienti culturali e cognitivi necessari in modo che si sviluppino per quanto possibile in forme sempre aperte e reciprocamente intrecciate, preoccupati non tanto di arrivare in fondo alla giornata o all'unità didattica o alla gita al museo, ma di quello che il lavoro attiva nell'identità complessiva dei ragazzi. Faccio un esempio. Se un insegnante di scuola d'infanzia ha chiare in mente le difficoltà che incontrerà un ragazzino quando, arrivato alle medie, dovrà studiare le proporzioni come se fossero un pezzo di conoscenza esoterica, può/deve (pro)porre tasselli di conoscenza operativa e discorsiva che siano funzionali a lungo termine, ma che al tempo stesso diano ai bambini la soddisfazione "esplosiva" di controllare pezzi di mondo. Il che non significa, ovviamente, insegnare le proporzioni a quattro anni. E così via in crescendo, attraverso tutta la scuola elementare. Fa parte dell'esperienza di ricerca, ad esempio della mia, l'aver lavorato sistematicamente per molti anni con gli stessi ragazzini. L'anno scorso si è conclusa la mia quinta esperienza di seguire dei bambini dalla prima elementare alla quinta, una volta a partire fin dalla scuola d'infanzia. La prima esperienza era stata quella di due cicli delle elementari consecutivi, con Alberto Manzi. Cosa vuol dire seguire questi bambini? Vuol dire incontrarli sistematicamente per capire, insieme ai loro insegnanti, che cosa succede loro in relazione alle proposte che via via si fanno e si aggiustano, sempre cercando una migliore risonanza con le loro potenzialità. Vuol dire utilizzare il feedback immediato, che comunque si ottiene abbondantemente, per indirizzare meglio il lavoro a lungo termine. Vuol dire, anche, andare in gita con loro, al campo scuola con loro, parlarci normalmente,

3. Duschl RA, Heidi A. Schweingruber HA and Shouse AW, *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8 National Academy of Sciences*, https://www.nsf.gov/attachments/117803/public/2c--Taking_Science_to_School.pdf

per capire che persone sono e quindi di che aiuto hanno bisogno per compiere il prossimo passo nella direzione giusta. Ricordandosi, anche, che le “zone di sviluppo potenziale/prossimale” di cui ben parlava Lev Semionovich Vygotskij⁴ non solo vanno riconosciute e utilizzate quando ci sono, ma vanno anche continuamente costruite e ricostruite: se non si vuole arrivare a quella “terra bruciata”, culturale cognitiva e emotiva, riconoscibile in tanti adolescenti.

Che cos'è capire

Uno degli aspetti reciprocamente paradossali di un insegnamento significativo è dunque quello di una sua progettazione lungimirante, che permetta a lungo termine l'appropriazione di strumenti cognitivi e culturali efficaci ed efficienti. L'altro, simmetrico, è quello per cui niente di astratto può essere appropriato nella sua specifica potenza se non acquista progressivamente il ruolo di correlare fra loro tanti aspetti dell'interazione mente-mondo che, in quanto dispersi, non sarebbero utilizzabili, in modo nemmeno paragonabile. Se la specificità del successo della conoscenza umana è quella di pensare per modelli espliciti, questa specificità non si innesca se non c'è abbastanza esperienza concreta come “base” da modellizzare. Non è vero che se faccio, capisco: ma è certamente vero che se non faccio/parlo/discuto ... in un contesto concreto, non capisco.

Allora come si supera l'apparente antinomia fra *necessità di una modellizzazione* via via sempre più raffinata per dare senso alla varietà dell'esperienza concreta, e *necessità di esperienze* sempre più variate per dare senso alla “durezza” delle modellizzazioni culturali? Valorizzando la complementarietà dei due processi, direbbe ancora il Bateson dell'“imparare a imparare”, e tenendo presente che scopo della trasmissione culturale non è l'insegnamento di verità sul mondo, ma la valorizzazione esplicita della cultura storicamen-

te definita come plausibile, affidabile e utile strumento di umanizzazione.

L'altra condizione dell'impegno a lungo termine è allora non avere paura di parlare di cose serie con parole serie, perché i discorsi inseriti in contesti di interesse indirizzano e modulano l'attenzione verso qualcosa che ha senso per il mondo/modo in cui si vive. In altre parole, non dobbiamo nasconderci dietro “ma quelli, poverini, non capiscono”. Qui in Toscana, scuole che hanno fatto progetti di laboratorio di ricerca in scienze si sono visti respingere il rendiconto di un lavoro di tre anni con la motivazione che non sta bene parlare, per es. di galleggiamento alla scuola dell'infanzia, perché i bambini non sono maturi; oppure non sta bene parlare di forze a quei poveretti di quarta elementare, perché il concetto di forza è molto difficile e nessuno di loro è ancora in grado di capire la dinamica di Newton. Né potrei parlare con un bambino di atomi - è un altro tabù - gli atomi, che non si vedono, non andrebbero nominati fino alla maturità sessuale. E il mondo è pieno di persone che la pensano in questo modo. Bisogna avere il coraggio di essere onesti quando parliamo. Loro capiscono? Ovviamente, no. Però, anche, ovviamente sì, se siamo, appunto onesti. Cerchiamo allora di regolarci come quando parliamo con un ragazzino di qualunque età che vuole sapere come nascono i bambini. Non è che rispondiamo: “Aspetta di avere quindici anni”, così a quindici anni, poi, gli scappa di fare un figlio e lui intanto pensa ancora a chissà che. Il problema è parlare in maniera seria per indirizzare seriamente chi ne ha bisogno e diritto, utilizzando al meglio tutte le sue potenzialità: dandogli così strumenti efficaci per organizzare e gerarchizzare le nuove esperienze a cui va continuamente incontro. C'è una frase famosa del giovane Ludwig Wittgenstein, quella che conclude il famoso *Trattato logico filosofico*⁵ con il quale lui era convinto di aver sovvertito tutta la

4. Vygotskij LS, *Pensiero e Linguaggio*, Bari, Laterza, 1990

5. Wittgenstein L, *Tractatus logico-philosophicus*, Milano, Feltrinelli, 2022

filosofia e tutta la scienza: “Di quello di cui non si sa parlare, è meglio tacere”. È una posizione culturalmente e cognitivamente micidiale. La frase bisogna riscriverla, e nel resto della sua vita Wittgenstein si è corretto radicalmente proprio in questo senso: “Di quello di cui non si sa ancora parlare bene, bisogna comunque cominciare a parlare”. Dove parlare vuol dire anche ascoltare, avere interazioni, riflettere, progettare, agire. Del resto già il buon Democrito osservava magistralmente che “Il discorso è l’ombra dell’azione”. A questo proposito, vorrei ancora riprendere una frase ascoltata stamattina, a conclusione della presentazione di un lavoro: “Quando facciamo queste cose, si sa dove si parte e si sa dove si vuole arrivare, ma bisogna trovare la strada”. Vorrei nuovamente citare Wittgenstein, grande pedagogo: “Quando volete convincere chiunque della verità di qualcosa, è inutile che cerchiate di farlo presentando direttamente i vostri argomenti. Bisogna andarli a prendere là dove sono, e trovare una strada per accompagnarli fin dove li vogliamo portare”. Questa immagine della strada del sapere è fondamentale da sempre, in tutte le culture, a cominciare da Parmenide e Zhuang Zi. E Wittgenstein nota innanzitutto che non sappiamo a priori da dove si parte: lo scopriremo se sapremo andare ad incontrare l’interlocutore là dove di fatto si trova. Con chi sto parlando? Cosa ha in testa? Questo io devo capire: altrimenti l’altro non si accomoderà, né assimilerà, né si equilibrerà, direbbe Piaget. E poi la strada può essere prevista a grandi linee, ma va aggiustata costantemente, come accade ogni volta che veramente si accompagna qualcuno di cui veramente ci importa a scoprire un pezzo di mondo. Per concludere, anche due frasi di bambini “normali”. (Le cose che ho capito sul capire le ho imparate alcune dagli adulti, ma la maggior parte lavorando con i bambini). Siamo in quarta elementare alle prese con un lavoro, che dura da tre o quattro settimane con incontri di un paio d’ore per volta, per capire bene che cos’è un angolo. A questo punto si discute su cosa abbiamo capito e cosa non abbiamo capito, e quindi - inevitabilmente - su come funziona il capire. Marco - *Io lo so quando ho capito una cosa. Me*

ne accorgo perché quando una cosa la capisco veramente mi sento venire tutto un calduccio dentro, e io così mi accorgo che ho proprio capito.

Seconda media, in un “laboratorio di scienze settimanale” che dura tutto l’anno. Anche qui un giorno si discute esplicitamente su come si fa a capire e cosa significa capire (è essenziale parlarne spesso, per non perdersi). Beatrice - *Quando sono in laboratorio e vedo una cosa, la cosa mi entra dentro gli occhi e poi sale su fino al cervello. E quando è arrivata lì comincia subito a correre per tutti quei corridoi che ci sono, e apre tutte le porte che trova, e guarda chi c’è dentro. E quando apre una porta e trova che lì ci sono delle cose che le assomigliano, entra e si mescola con loro, e allora a me mi viene l’idea. E poi l’idea scende giù fino alla bocca, e io la dico, e non ci penso più.*

Beatrice era una bambina con le trecce bionde e i fiocchetti rossi, ora fa la ricercatrice di biologia all’estero. Per fare mestieri di questo tipo, mestieri bellissimi, come quello dell’insegnante, occorre porsi delle domande serie e concordare delle strategie: che non significa concordare semplicemente che cosa diremo domani ai bambini, ma con che criterio, con che progetti a lungo termine. Plausibilità e risonanza, cognitiva ed emotiva, come chiavi e criteri per il successo nella mediazione culturale: questo, di fatto, lo sanno bene i bambini, e su questo ci si può appoggiare per vivere bene e con frutto, loro e noi, il tempo che passiamo insieme. ●



Pensieri sulla formazione scientifica di base

The Italian school needs, starting from kindergarten, a radical renewal of scientific teaching through a "serious" teacher training. Ministerial indications are in fact often disregarded and the critical and anti-dogmatic attitude which is the deepest educational value of scientific teaching is scarcely found in society. The many reflections in the article lead to recognize that the sciences represent one of the cultural cornerstones of our society. Therefore the acquisition of scientific, technological and linguistic skills is crucial for the future of democracy, for sustainable development and the quality of life.

Keywords: *Scientific teaching, Scientific skills*

Cristina Duranti

Nella mia lunga carriera di docente di chimica e nella successiva esperienza di Dirigente scolastica di Istituto Comprensivo ho capito che la possibilità di incidere davvero sulla formazione dei giovani dipende in misura decisiva da quello che un bambino apprende nel I ciclo. È lì che si decide in larga parte il futuro scolastico di un individuo; la cultura scientifica degli italiani continua ad essere inadeguata rispetto alle necessità e non c'è una via di uscita rapida: si tratta di proporre apprendimento delle scienze quanto più precocemente possibile in modo da renderne più profondo e significativo l'imprinting.

Scienze per la cittadinanza attiva

Ho visto tante ragazze e tanti ragazzi del primo anno del II ciclo annaspere durante un semplice esperimento, sentirsi disorientati alla richiesta di descrivere un fatto, una situazione, un ambiente o anche semplicemente una piantina spontanea che cresce nell'aiuola. E li ho trovati anche poveri di abilità di calcolo mentale, spesso senza essere in grado di usare correttamente una calcolatrice, con competenze linguistiche limitate e difficoltà di attenzione e di concentrazione. Non tutti ma molti sì.

L'approccio laboratoriale è ancora una conquista da consolidare e non un punto di partenza: gli studenti sono abituati a memorizzare e a svolgere esercizi stereotipati privi di un contesto di senso motivante; per alcuni di loro concentrarsi su un piccolo esperimento descrivendone le fasi e ragionando sulle osservazioni è un salto quantico notevole e stressante rispetto alla tranquilla abitudine ad "imparare" verità fornite più o meno come dogmi.



La prospettiva ambiziosa è di adoperarsi a diffondere un approccio non dogmatico, attivo e interdisciplinare all'insegnamento delle scienze; e per superare il diffuso analfabetismo scientifico del cittadino si deve partire dalla prima infanzia.

Al riguardo il Documento del MIUR *Indicazioni nazionali e nuovi scenari*¹ uscito nel 2018 recita: “Nella scuola dell’infanzia non si tratta di organizzare e ‘insegnare’ precocemente contenuti di conoscenza o linguaggi/abilità, perché i campi di esperienza vanno piuttosto visti come contesti culturali e pratici che ‘amplificano’ l’esperienza dei bambini grazie al loro incontro con immagini, parole, sottolineature e ‘rilanci’ promossi dall’intervento dell’insegnante”.

È importante quel “precocemente” che sta ad indicare che non c’è da anticipare contenuti e concetti come se l’insegnamento scientifico potesse prescindere dall’età degli alunni e ritenere che tutto vada bene a tutti. Al contrario, si punterà ad “amplificare” la fisiologica esperienza di vita del bambino dando “all’età quel che l’età richiede”.

Già le *Indicazioni nazionali* del 2012² proponevano questo approccio quando affermavano che “La gradualità e non dogmaticità dell’insegnamento favorirà negli alunni la fiducia nelle loro possibilità di capire sempre quello che si studia, con i propri mezzi e al proprio livello”.

L’evidente mancanza di conoscenze scientifiche di base da parte della popolazione italiana, la diffusa incapacità critica di distinguere ciò che è scienza da ciò che è narrazione priva di sostegno scientifico si è manifestata dolorosamente durante la pandemia di Covid-19. La disinformazione della popolazione, con la conseguente incapacità di contrastare la diffusione di notizie infondate, ha condotto in taluni casi a scelte personali dannose per sé e per la collettività, al diffondersi di atteggiamenti e comportamenti ingiustificati e aggressivi e addirittura a proposte politiche

scientificamente infondate. Sostanzialmente, cosa si chiedeva alla Scienza? Certezze. Anche chi ha avuto fiducia negli scienziati si figurava la scienza come una macchina che produce verità incontrovertibili. Se questo atteggiamento è comprensibile sul piano psicologico non lo è affatto sul piano culturale; perché la cultura scientifica è per lo più percepita come non necessaria, come qualcosa da delegare agli scienziati e sostanzialmente non collegata alla propria vita quotidiana? Perché la cultura scientifica non è percepita come un valore ma come un insieme di tecnicismi aridi e astrusi?

Valenza formativa dell’educazione scientifica

Perché sembra quasi un diritto ignorare anche le più elementari nozioni matematiche? Per esempio l’andamento di una curva esponenziale, cosa che sarebbe stata utilissima durante la pandemia? Quante scelte controproducenti sono state fatte perché “la curva cresce ancora lentamente” e invece era evidente un andamento esponenziale?

1. <http://www.indicazioninazionali.it/2018/02/18/documento-indicazioni-nazionali-e-nuovi-scenari/>

2. <http://www.indicazioninazionali.it/2018/08/26/indicazioni-2012>



Insomma, chi legge le “Indicazioni nazionali del I ciclo di istruzione” del 2012 scopre che già alla fine del primo ciclo un ragazzo dovrebbe avere le abilità e le competenze essenziali per comprendere il comportamento di un virus e la sua diffusione nelle popolazioni umane. E se ciò non è avvenuto significa che c’è da riconsiderare attentamente quale sia la reale e attuale pratica didattica nelle nostre scuole.

Oggi come ieri, è necessaria la consapevolezza che le scienze rappresentano uno dei cardini culturali della nostra società in rapida evoluzione e che la formazione dei futuri cittadini si sviluppa in un presente, e ancor più di un futuro, nel quale l’acquisizione delle competenze scientifiche e tecnologiche di base è determinante non solo per il successo personale di ciascuno ma per lo stesso futuro della Nazione in termini di sviluppo economico sostenibile e qualità della vita. È il cosiddetto “capitale umano”, quello che fa la differenza. La pandemia ha accentuato tutte le differenze e tutte le criticità ma sono ormai molti anni che la formazione dei nostri giovani mostra deficienze più serie di quelle di altri paesi dell’area OCSE; certo le eccellenze non mancano, ma il deficit culturale scientifico dei ragazzi italiani, evidenziato dagli esiti delle indagini internazionali ma anche dalle stesse prove INVALSI, mostra come i risultati dell’area scientifico-matematica rimangano ampiamente inferiori alle attese.

Questo deficit può essere colmato solo intervenendo sui livelli scolari più bassi con attività scientificamente e pedagogicamente fondate volte a rafforzare la naturale curiosità del bambino e a coltivarne la motivazione allo studio come strumento critico di conoscenza della realtà. Per inciso, vale la pena di sottolineare che esiste anche un serio problema di genere: purtroppo ancor oggi la maggior parte delle ragazze, pur conseguendo risultati scolastici più brillanti dei loro coetanei maschi, non eccellono nell’area scientifica e segnatamente nelle scienze matematiche. Nonostante i molti esperimenti di ricerca didattica che si sono succeduti dalla negli ultimi 50 anni in seguito alla Legge n.1859 del 31 dicembre 1962 di riforma della Scuola media, il salto

di qualità tuttora da compiere è quello di superare il prevalente approccio frontale e trasmissivo all’insegnamento scientifico per passare alla laboratorialità cioè partire da attività e osservazioni sperimentali per fare della classe un atelier d’idee, congetture, tentativi di razionalizzazione di fenomeni ed eventi.

Interessanti al proposito le “Indicazioni nazionali e nuovi scenari” del 2018: “In ambito scientifico, è fondamentale dotare gli allievi delle abilità di rilevare fenomeni; porre domande; costruire ipotesi; osservare, sperimentare e raccogliere dati; formulare ipotesi conclusive e verificarle. Ciò è indispensabile per la costruzione del pensiero logico e critico e per la capacità di leggere la realtà in modo razionale, senza pregiudizi, dogmatismi e false credenze. Per il conseguimento di questi obiettivi è indispensabile una didattica delle scienze basata sulla sperimentazione, l’indagine, la riflessione, la contestualizzazione nell’esperienza, l’utilizzo costante della discussione e dell’argomentazione”.

Praticare concretamente la centralità dell’alunno significa trasformare la curiosità del bambino in “indagine” sulla realtà naturale, agevolando l’appropriarsi di procedure razionali di osservazione e di interpretazione della realtà naturale, coltivando la descrizione di quanto osservato con più di un linguaggio (disegno, verbalizzazione orale e scritta, produzione di documenti elettronici), favorendo la conoscenza del sé e dei propri interessi, abituando alla condivisione dei significati e all’appropriazione di un linguaggio scientifico adeguato alla fascia scolare e via via più preciso e raffinato.

Molti fattori, dai tagli di organico alle scelte schizofreniche sulla formazione e selezione iniziale dei docenti, hanno congiurato a non far migliorare l’insegnamento scientifico ancorato alla memorizzazione di teorie, concetti e modelli astratti che fanno apparire le scienze sperimentali come un insieme di verità assolute da accettare acriticamente. Un approccio sostanzialmente passivo che veicola un’idea di scienza paradossalmente dogmatica anziché porre in enfi il tortuoso cammino della ricerca scientifica

fatto di affermazioni provvisorie continuamente passate al vaglio della verifica sperimentale e della continua ricerca di nuove teorie per risolvere nuovi problemi e proporre nuove interpretazioni dei fenomeni naturali.

Si tratta, al contrario, di far percepire il carattere “economico” della scienza per la quale anche l’insuccesso è un risultato e di smascherare la concezione secondo cui la scienza è un apparato produttore di certezze. Quante volte si abusa l’espressione “certezza scientifica”? Sta, invece, nell’atteggiamento critico e antidogmatico il più profondo valore formativo dell’insegnamento scientifico: questa è la sfida che la scuola deve ancora raccogliere fino in fondo nella certezza che le strumentalità scientifiche di base sono irrinunciabili per la formazione del cittadino non solo per accedere alla formazione permanente ma anche per formarsi le proprie opinioni sulle grandi scelte etiche del nostro tempo (salute, bioetica, ecosostenibilità, pari opportunità e via dicendo). L’accesso alla cultura scientifica è un fatto di democrazia sostanziale.

Laboratorio e laboratorialità

Ancora dalle *Indicazioni nazionali* del 2012³: “In matematica, come nelle altre discipline scientifiche, è elemento fondamentale il *laboratorio*, inteso sia come luogo fisico sia come momento in cui l’alunno è attivo, formula le proprie ipotesi e ne controlla le conseguenze, progetta e sperimenta, discute e argomenta le proprie scelte, impara a raccogliere dati, negozia e costruisce significati, porta a conclusioni temporanee e a nuove aperture la costruzione delle conoscenze personali e collettive”.

In questa prospettiva è necessario anche sgombrare il campo dagli esperimenti “che tornano” perché sono la mera ripetizione di protocolli chiusi che lasciano poco spazio all’imprevisto e alla problematizzazione delle osservazioni e dei risultati e, invece, selezionare esperienze pratica-

bili e significative che spingano i ragazzi a cercare spiegazioni, a congetturare, a formulare e sostenere ipotesi esplicative, ad argomentare, verbo che compare spesso nei traguardi formativi delle *Indicazioni nazionali*.

La studiosa inglese Rosalind Driver, non a caso, riferendosi all’uso ad effetto della frase “se faccio capisco”⁴, sosteneva che frequentemente vale il contrario “se faccio resto ancora più confuso”⁵. La confusione si ingenera spesso da un uso stakanovista del laboratorio che costringe gli alunni ad adattarsi ad un cammino mentale loro estraneo, in genere quello del libro di testo, mentre nella scuola di base la lettura scientifica di un esperimento va costruita partendo sia dalla percezione individuale che dal significato condiviso che scaturisce dal confronto di idee, ipotesi e ragionamenti sviluppati nella classe sotto la regia dell’insegnante che si è preoccupato di organizzare razionalmente i contenuti in un percorso adeguato alla fascia scolare e all’identità della classe medesima.

Certo, questa prospettiva richiede un grande lavoro di preparazione, sperimentazione e formazione continua degli insegnanti. Ad esempio la predisposizione di esperimenti-prototipo in un Dipartimento di Scienze ha proprio questo scopo: offrire agli insegnanti un metodo didattico, uno stile di conduzione del gruppo, un’attenzione al singolo e, nel contempo, all’insieme per poi costruire la loro programmazione didattica e approdare al curriculum verticale d’Istituto.

In questo quadro è indispensabile che il di-



3. <http://www.indicazioninazionali.it/2018/08/26/indicazioni-2012>

4. “Se ascolto dimentico, se vedo ricordo, se faccio capisco” (Confucio).

5. Driver R, *L’allievo come scienziato*, Bologna, Zanichelli, 1988.



partimento e l'Istituto costruiscano una rete di rapporti tra docenti del territorio e altri enti in sostegno alla progettazione, validazione e documentazione delle attività di didattica delle scienze. E sempre all'approfondimento disciplinare. Ora, in ogni scuola, gli innovatori, gli insegnanti davvero appassionati e coinvolti anche emotivamente, sono una minoranza mentre la maggior parte del corpo docente è professionalmente corretto ma rimane legato alle routine e alle scansioni proposte dai libri di testo cioè a qualcosa supposto uguale per tutti sempre e dovunque.

Il Curricolo d'Istituto

La risposta sta in un Curricolo d'Istituto che coniughi gli obiettivi formativi nazionali con le esperienze didattico-pedagogiche progettate, attuate e valutate dalla comunità scolastica: è un processo complesso che richiede tempo, condivisione e risorse culturali e professionali approfondite.

Formulare un curricolo verticale d'Istituto significa essenzialmente costruire un messaggio per l'allievo: "Tu ce la puoi fare perché la tua scuola ti riconosce come studente che ha la sua storia". Un buon curricolo si basa sull'idea che ogni classe è luogo di diversità, che ogni allievo è un cit-

tadino con bisogni e tempi formativi suoi propri, che la motivazione di ogni studente non è una dote innata e imm modificabile ma una qualità da coltivare in termini di responsabilità ed autonomia: obiettivo complesso e molto ambizioso per raggiungere il quale è indispensabile contare su un gruppo di insegnanti che si dedica sistematicamente alla ricerca e che sa reperire risorse culturali esterne (Università Associazioni, Enti locali ecc) e costruire reti anche con altre scuole del territorio.

Spetta al gruppo disseminare buone pratiche e offrire ai colleghi spunti, riflessioni ed esperienze collaudate che permettano a ciascun docente di affrontare in classe con sicurezza ciò che da solo non avrebbe la possibilità di fare.

In ogni Istituto dovrebbe essere promossa la costituzione di gruppi e di dipartimenti disciplinari e interdisciplinari per individuare i nodi concettuali che fungeranno da organizzatori didattici e dell'apprendimento essendo consci che in un Istituto Comprensivo la progettazione didattica richiede di aver ben presenti forse più le discontinuità che le continuità del processo insegnamento/apprendimento.



Basta pensare al grado di sviluppo cognitivo dei bambini delle diverse età per capire che occorre una meditata selezione dei nuclei concettuali per i quali è ragionevole pensare ad una verticalità che parta dall'infanzia e arrivi alla secondaria di primo grado.

Il lavoro richiesto, anche alla luce delle *Indicazioni nazionali per il primo ciclo* integrate dai *Nuovi scenari*, non è banale perché non c'è più il "programma" ma la progettazione di una proposta didattica e pedagogica identitaria dell'Istituto in quanto risposta ai bisogni cognitivi e metacognitivi dei propri alunni. Una proposta didattica, quindi, saldamente imperniata sui reali bisogni educativi degli alunni di quel territorio con la sua storia, i suoi problemi e le sue necessità sempre nel rispetto dei traguardi formativi finali previsti nelle Indicazioni nazionali.

Non si considera abbastanza che anche il bimbo di tre anni ha già un suo punto di vista sul mondo e un suo modo di guardarlo e si trascurano o, peggio, si considerano impicci le concezioni ingenuie e di senso comune che i bambini hanno interiorizzato nella loro pur breve esperienza di vita. Un bambino non è una tabula rasa ma possiede già una sua cultura derivante dall'ambiente familiare e dal contesto socio-culturale in cui vive.

Varietà di stimoli e linguaggi

La pandemia ha sollecitato un uso generalizzato delle risorse digitali e, in particolare, della Didattica a distanza con tutti i vantaggi e i rischi che sono stati evidenziati e che qui non ci interessa riprendere. Vale la pena di riflettere sul fatto che molti genitori sono ormai nativi digitali e i loro figli hanno già sviluppato una certa autonomia nell'utilizzo delle tecnologie digitali e sono in possesso di abilità e competenze informali o non formali la cui svalutazione o sottovalutazione non è più realistica.

Si afferma spesso che c'è stata una mutazione antropologica come conseguenza della rivoluzione digitale; non sono un'antropologa per esprimermi in merito ma non posso non sottolineare che, accanto alla diffusione delle TIC, c'è la regressione dall'esperienza concreta e diretta delle cose

e un preoccupante aumento di bambini che hanno scarsamente sviluppato la manualità e, in particolare, i movimenti fini. Non credo che l'assassino sia "il computer", quanto un diffuso stile di educazione che drammatizza i "pericoli" del toccare, del manipolare e che, in fondo, disdegna le attività pratiche e continua a contrapporre il pensiero alla manualità. In ogni caso il risultato è che già nella primaria si assiste ad una sorta di analfabetismo del gesto che compromette o atrofizza quella spontanea modalità di apprendimento che è il rapporto diretto con gli oggetti e l'uso consapevole delle percezioni sensoriali. Ecco il perché del lavoro che valorizza l'esperienza, il pasticciamento e il coinvolgimento sensoriale ed emotivo del bambino; lavoro che ha un ruolo formativo della persona assai più profondo e trasversale di quanto gli insegnanti stessi non sospettino.

Nessuna demonizzazione delle molteplici risorse elettroniche: sono canali efficaci di comunicazione individuale e di gruppo, di lavoro collaborativo, di documentazione delle attività, di organizzazione delle risorse. Francamente il loro uso è ancora poco focalizzato e non sfruttato quanto potrebbe ma certo "il digitale" non sostituisce l'esperienza concreta. Quindi è insensato chiudere il laboratorio perché "tanto ora si fa tutto sul computer" mentre invece è proprio il caso di potenziare l'uso delle risorse e delle tecniche elettroniche per potenziare il laboratorio.

Lo sviluppo delle prassie è uno dei passaggi cruciali della crescita equilibrata del bambino e la pratica laboratoriale contiene in sé alcuni elementi trasversali dell'apprendere: fare i conti con la realtà, sviluppare quella progettualità che consente di organizzare il lavoro, avere il senso dello spazio e della sua gestione, sviluppare la gestualità adeguata a compiere certe operazioni, imparare a "prendere le misure" cioè a conquistare la spazialità. Anche l'educazione motoria e quella artistica offrono queste opportunità e, non a caso, nella scuola dell'infanzia e in quella primaria queste dimensioni collaborano e si parlano proprio in quanto linguaggi non verbali che consentono di esprimere anche l'emotività legata all'apprendimento.

Già alla secondaria di I° grado la dimensione del fare e del percepire attraverso i sensi si attenua fino a scomparire. Al contrario è un aspetto essenziale dell'apprendimento e della motivazione.

Più che educare, in molti casi, si distruggono interi campi di esperienza dei ragazzi e si inibiscono canali di apprendimento difficilmente recuperabili in età successive.

Nella scuola dell'infanzia e in quella primaria non c'è ancora quella separazione disciplinare così netta da compromettere la creatività dello scolaro anche se alla primaria qualche docente si sente di dover "imitare" il fare lezione delle scolari successive: veri e propri anticipi di disciplinarietà, lezione frontale, carichi di lezione domestica pesanti. Questi fenomeni sono spie del disagio dei maestri per la riduzione del prestigio sociale della loro funzione e di un rapporto non equilibrato delle famiglie con la scuola e la didattica. Anche qui, la scuola, consapevole della propria missione, ha da costruire un rapporto con i genitori fondato sul riconoscimento e il rispetto dei reciproci ruoli ma anche sulla necessità di render conto e di documentare il proprio operato.

Nella scuola secondaria di primo grado, invece, la compartimentazione dei saperi in materie che comunicano in modo insufficiente richiede una bella e decisa contaminazione principalmente tra le aree umanistica-comunicativa e tecnologica-scientifica. Insomma tra le "due culture" quali relazioni intercorrono? Ricordiamo tutti quanto Rita Levi Montalcini⁶ insistesse sulla necessità di superare la separazione tra cultura scientifica e cultura umanistica segnalando come nell'umanesimo contemporaneo non può che essere compresa la scienza nel momento in cui quest'ultima si addentra sempre di più nei meccanismi della cognizione e in territori eticamente delicati e decisivi (p. es. origine e fine vita, biotecnologie, sostenibilità del nostro stile di vita).

Ma non c'è solo questo: Vygotsky⁷ aveva a suo tempo ben messo a fuoco il ruolo del linguaggio

nell'apprendimento. Si apprende con il linguaggio e la mancanza di competenze linguistiche appropriate comporta la quasi totale impossibilità di assumere informazioni.

Le *Indicazioni nazionali per il I ciclo*, non a caso, insistono sull'arricchimento lessicale come passaggio irrinunciabile per l'apprendimento e, personalmente, ritengo che già la progettazione del singolo percorso dovrebbe includere tra gli obiettivi quello di acquisire la conoscenza e l'uso corretto di un certo numero di vocaboli nuovi o comunque rivisitati nella loro valenza scientifica rispetto all'uso comune.

Per potenziare il linguaggio ci sono anche altri strumenti molto utili come il CLIL (Content and Language Integrated Learning): presentare anche la parola o l'espressione in inglese, ad esempio, è un bello stimolo per il ragazzo che allunga i propri tempi di riflessione ed è guidato ad una sorta di doppio pensiero, prima in lingua madre e poi in lingua straniera e cioè al consolidamento sia dell'apprendimento scientifico che di quello linguistico.

Insomma, per scuole è indispensabile lasciarsi sollecitare dalle proposte didattico-pedagogiche più interessanti, come ad esempio quelle della rete "Senza zaino", ma forse è ancora più necessario lo sforzo di costruire comunità di pratiche a livello di territorio che accompagnino gli Istituti e i singoli docenti nella progettazione di curricoli d'Istituto fortemente connessi con la realtà circostante e le sue peculiarità culturali, sociali e produttive. ●



6. Levi Montalcini R, *Elogio dell'imperfezione*, Milano, Garzanti Editore, 1987.

7. Vygotskij LS, *Pensiero e Linguaggio*, Roma-Bari, Laterza, 1990.

Hanno collaborato a questo numero:

Anna Anglari Buiatti, laureata in Medicina e Chirurgia presso l'Università di Firenze, specializzata in Neuropsichiatria Infanzia e Adolescenza presso l'università di Pisa. Psicoterapeuta, Perfezionata in Psicologia Giuridica, Psicopatologia e Psicodiagnostica Forense. Già Giudice Onorario del Tribunale per i Minorenni di Firenze. È membro del "Comitato Scientifico Permanente" del Comitato "Giù le Mani dai Bambini" ONLUS. Autrice di oltre 50 pubblicazioni in gran parte su riviste e volumi specialistici.

Angelo Baracca, professore a riposo dell'Università di Firenze, fisico e storico della scienza, da decenni è impegnato nei movimenti ecopacifisti. In particolare si è impegnato nelle lotte contro i programmi nucleari e per il disarmo nucleare. Dal 1995 ha condotto una collaborazione scientifica con Cuba.

Giambattista Bello, naturalista e biologo marino specializzato in biostatistica e teutologia, ha lavorato presso il Laboratorio di Biologia Marina di Bari e, quindi, col gruppo Grandi Pelagici (DETO, Università di Bari). Dedicò parte delle sue energie alla divulgazione scientifica; ha scritto i libri *Il mare e il pescatore* (Provincia di Bari) e *Polpo di scena* (Adda Ed., Bari). Si interessa anche di Musica Antica.

Renato Cecchi, ex sindacalista segretario in Fiom CGIL, dirigente in CGIL regionale toscana, direttore di IRES, segretario e poi presidente di ALT.

Francesca Civile, laureata in Filosofia, già insegnante di Italiano e Storia, da sempre appassionata di scienze naturali e collaboratrice di *Naturalmente*.

Cristina Duranti, laureata in Chimica, già docente di Chimica in scuole secondarie di II grado e Dirigente scolastica di Istituti comprensivi in Provincia di Pisa. Si è occupata di Didattica della Chimica, di curriculum verticale e di formazione dei docenti. È stata supervisore di tirocinio Indirizzo Scienze Naturali SSIS Toscana e tutor per il Piano Insegnare Scienze Sperimentali. Ha collaborato con il CRED Valdera sulla formazione scientifica.

Simone Farina, laureato in Scienze Naturali e con un Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, è curatore della sezione di Zoologia dei Vertebrati del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

Elena Gagliasso, epistemologa, docente di Filosofia della scienza e Filosofia e scienze del vivente all'Università di Roma Sapienza, tratta le declinazioni del rapporto scienza-società e le metodologie, le trasformazioni categoriali e la storia della biologia evolutiva e dell'ecologia. Segnaliamo il suo ultimo libro (con Giulia Iannucci e Leonardo Ursillo) *Ambienti e migrazioni umane* (Franco Angeli, 2022)

Manuela Giovannetti, Professore ordinario di Microbiologia agraria e preside della Facoltà di Agraria dell'Università di Pisa. Ha diretto il centro di Studio per la Microbiologia del suolo del CNR e coordinato la banca europea del Germoplasma IBG. Ha pubblicato oltre 100 lavori su riviste scientifiche internazionali. Ha svolto attività di ricerca in numerose Università europee, tra cui Cambridge, Copenhagen, Helsinki, studiando i meccanismi di ricombinazione genetica di microrganismi benefici e il loro ruolo nel mantenimento della fertilità biologica del suolo in agricoltura sostenibile.

Paolo Guidoni (1933-2021) è stato docente di Fisica teorica, ricercatore in fisica sperimentale delle particelle, ha approfondito la modellizzazione dell'apprendimento in area fisico-matematico-linguistica, collaborando con A. Manzi e MCE. Ha curato in SSIS l'insegnamento integrato di matematica e fisica e la formazione primaria. Membro della Scuola Internazionale "Enrico Fermi" di Varenna, si è impegnato nella stesura di "Percorsi attraverso Spiegare&Capire", concernenti la matematica per la scuola di base e la fisica a livello universitario.

Alessandro Lippi, consigliere comunale al comune di Viareggio per 25 anni, direttore generale di diversi dipartimenti presso la Regione Toscana per 25 anni. Ha diretto per 10 anni l'Agenzia Regionale Per l'Ambiente Toscana (ARPAT). Senatore della Repubblica nella nona legislatura in commissione sanità.

Giuseppe Longo, professore ordinario di Entomologia generale e applicata, attualmente in pensione, è membro dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Accademia Roveretana degli Agiati, Accademia dei Georgofili, IUCN/SSC Grasshopper Specialist Group, Comunità Scientifica WWF Italia, nonché dell'Editorial Board di numerose riviste. È anche direttore responsabile della rivista *Il Naturalista Siciliano*. Ha condotto ricerche entomologiche e ornitologiche, pubblicando oltre 450 articoli scientifici e alcuni libri divulgativi.

Alessandro Minelli, già professore ordinario di Zoologia presso l'Università di Padova, ha iniziato la sua attività di ricerca dedicandosi a problemi di sistematica zoologica e di filogenesi, per poi indirizzarsi verso la biologia evolutiva dello sviluppo (evo-devo). Quanto alla sistematica, ne ha seguito i moderni sviluppi anche sul piano molecolare e ne ha affrontato criticamente i concetti fondamentali ed i metodi operativi. Nel campo della biologia evolutiva dello sviluppo, ha lavorato sia sul piano sperimentale (inclusi gli aspetti molecolari) che su quello teorico e modellistico.

Ignazio Riccioli siciliano, impegnato nel settore dell'edilizia da più di un ventennio, è *Divemaster* e *Depression Diver*. Da sempre vive di mare, accompagnato in ogni occasione dalla sua inseparabile fotocamera. Il suo archivio fotografico contiene i "segreti" dei fondi marini siciliani, soprattutto quelli del litorale catanese. Vincitore di concorsi fotosub, ultimamente privilegia la foto ambiente, non disdegnando il *close-up*. Le sue foto, pubblicate su importanti riviste di settore, sono anche *testimonial* di importanti organizzazioni subacquee nazionali.

Piero Sagnibene, ricercatore indipendente, entomologo, idrobiologo, eco-tossicologo.

Angelo Vazzana, laureato in Scienze Biologiche e in Medicina e Chirurgia; ha esercitato la professione di biologo presso strutture ospedaliere e, infine, quella di medico libero professionista. È specializzato nell'ecologia marina dell'Area dello Stretto e dirige il *Museo di Biologia Marina e Paleontologia di Reggio Calabria*, www.museopaleomarino.org. Ha indetto eventi scientifici, tra cui gli *Abyss Day* e *Veleva Day*. Oltre ad articoli scientifici, ha pubblicato la "Trilogia dello Stretto": *Biodiversità marina lungo le coste della provincia di Reggio Calabria*; *Fenomeni naturali e miti nell'Area dello Stretto*; *Odissea dell'Odissea*.

