

naturalmente scienza

ottobre 2024

anno 5

numero 3

quadrimestrale

in questo numero:

IN PRIMO PIANO: *FAQ sul pensiero critico* di Paola Bortolon • *Percepire, credere e conoscere* di Silvano Fuso • **RITRATTO DI FAMIGLIA:** *Membracidae* di Piero Sagnibene • **CONTRIBUTI:** *Minacce in alto mare. La radioattività* di Eleonora Polo • *Adattamento, mitigazione, rigenerazione: quali politiche per la sostenibilità ambientale?* di Fiorenzo Ferlaine • *Progetto Genoma Umano: un fallimento di successo* di Fabio Fantini • **UNO SCATTO ALLA NATURA:** *Convergenze evolutive* di Marco Bondini • **SORELLE SCIENZIETTE:** *Le caraffe filtranti: come trasformano l'acqua del rubinetto, fatti e fandonie* di Lucia e Margherita Duca • **FARE SCUOLA:** *Un giardino da abitare* di Anna Aiolfi • *Imparare nell'Orto Sinergico: esperienze in una scuola primaria multiculturale alla periferia di Torino* di Maria Pezzia

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
(MIM 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:

Tramonto a Cecina, foto di Vincenzo Terreni

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

IA, la sigla rimanda ad aspetti con storie e applicazioni diverse nel tempo.

I processori diventano man mano più veloci e la memoria nei pc e negli smartphone aumenta fino ad ospitare una quantità di informazioni impossibile da immaginare vent'anni fa. Sostanzialmente non si tratta di intelligenza così come ciascuno la intende. Se si va a cercare il significato corrente, si trova una gran quantità di definizioni più o meno lunghe che certamente non spiegano la capacità raggiunta dai più potenti calcolatori. Per conoscere l'intelligenza di una persona si continua a ricorrere ai test, che vengono proposti e, se proprio abbiamo tempo da perdere, possono essere affrontati immediatamente per ottenere il proprio QI.

Per la maggior parte dei casi si tratta non di intelligenza, ma della possibilità di eseguire un certo tipo di algoritmo: completare il nome di un contatto mentre si sta digitando sul telefono, scegliere il miglior settaggio della fotocamera a seconda delle condizioni ambientali o dell'inquadratura, oppure effettuare la ricerca del miglior percorso per raggiungere una certa località. Si tratta di servizi certamente utili, ma che funzionano utilizzando i dati presenti nella memoria del nostro apparecchio elettronico tramite la ricerca veloce di tutte le possibilità memorizzate. In questo caso si tratta di IA che non aggiunge niente a quel che propone, se non quel che c'è già.

Una macchina correttamente programmata è in grado di riconoscere tutto quello che riesce a filmare o fotografare attraverso una fotocamera. Riconosce il linguaggio, analizza i dati e li incrocia tra loro. Per esempio, nella guida automatica di un'autovettura, c'è la necessità di conoscere, tramite le immagini della fotocamera, quale sia la velocità del mezzo in ogni istante, le manovre delle autovetture più vicine e di mettere tutto insieme per stabilire la manovra più adatta momento per momento, come farebbe il conducente. Anche i supercalcolatori non hanno la possibilità di formulare qualcosa di originale – un'idea – ma sono in grado di riconoscere una grande quantità di oggetti, di persone, di linguaggi tramite l'acquisizione di dati che vengono memorizzati e classificati all'interno di gruppi di immagini, per esempio di volti, cartelli stradali, panorami etc. La quantità di informazioni inserite nella memoria vastissima sono consultate con grande velocità e ordinate opportunamente. Quando chiediamo di riconoscere la foglia di una pianta, questa viene riconosciuta in fretta e identificata immediatamente se risiede nella memoria, in caso contrario il calcolatore non la riconosce neppure come foglia. La nostra intelligenza, se abbiamo qualche conoscenza di botanica, sarebbe in grado di identificarla in fretta aiutandosi con un manuale. Ecco la differenza: è veloce, ma non ragiona. Ancora non ci sono calcolatori in grado di collegare dati diversi per soddisfare una domanda che non trova una risposta nella memoria: la fase cosiddetta "cognitiva" ancora non è stata raggiunta.

La fase successiva, quella dell'apprendimento, è una fase avanzata con molte possibilità di sviluppo perché si cerca di far lavorare il nostro strumento per aggiungere qualcosa di nuovo rispetto ai soli dati in memoria. In tutto il mondo si stanno sperimentando nuovi percorsi per fornire agli elaboratori la possibilità di offrire delle soluzioni originali, mediante simulazioni del funzionamento del cervello umano, a partire da modelli di reti neurali (*deep learning*).

A questo punto occorre introdurre un altro dato che non è di importanza secondaria: questa ricerca promette di dare possibilità di guadagno ingenti, ma per raggiungere risultati sempre più complessi occorrono elaboratori di grandi prestazioni che potranno essere ottenute solo da computer quantistici. Queste macchine, e anche le altre tradizionali, consumano una quantità di elettricità enorme. Ci viene incontro una batteria, realizzata dall'Istituto di Nanoscienze del Cnr di Pisa, che genera corrente grazie a una "differenza di fase quantistica" tra i due poli. Il ricercatore Elia Strambini, coautore dello studio, spiega il funzionamento e le possibili applicazioni. La batteria che alimenterà i computer quantistici del futuro – in grado di risolvere in pochi secondi calcoli che richiederebbero millenni di lavoro dei supercomputer di oggi (come, ad esempio, trovare farmaci innovativi senza dover effettuare milioni di esperimenti sul campo) – è ormai pronta e possiamo considerarla una realtà.

Potrà questo bastare per far fare ai computer quel salto verso un apprendimento che prescindano dai dati già accumulati in memoria e che vada verso forme di ragionamento cognitivo?

SOMMARIO

IN PRIMO PIANO

FAQ sul pensiero critico <i>di Paola Bortolon</i>	5
Percepire, credere e conoscere <i>di Silvano Fuso</i>	11

RITRATTO DI FAMIGLIA

Membracidae <i>di Piero Sagnibene</i>	19
--	----

CONTRIBUTI

Minacce in alto mare. La radioattività <i>di Eleonora Polo</i>	25
Adattamento, mitigazione, rigenerazione: quali politiche per la sostenibilità ambientale? <i>di Fiorenzo Ferlaino</i>	33
Progetto Genoma Umano: un fallimento di successo <i>di Fabio Fantini</i>	39

UNO SCATTO ALLA NATURA

Convergenze evolutive <i>di Marco Bondini</i>	47
--	----

SORELLE SCIENZIETTE

Le caraffe filtranti: come trasformano l'acqua del rubinetto, fatti e fandonie <i>di Lucia e Margherita Duca</i>	49
---	----

FARE SCUOLA

Un giardino da abitare <i>di Anna Aiolfi</i>	53
Imparare nell'Orto Sinergico: esperienze in una scuola primaria multiculturale alla periferia di Torino <i>di Maria Pezzia</i>	60

FAQ sul pensiero critico

Paola Bortolon

Through the answers to possible questions, the article illustrates the characteristics of critical thinking, when it is activated, and how it can be recognised and enhanced.

Key words: *Critical thinking, Fake news, Beliefs, Bias.*

Sviluppare e potenziare il pensiero critico è l'impegno che varie agenzie formative, formali e informali, si sono assunte, così da ridurre i comportamenti anti-scientifici. Tali comportamenti sembrano avere la prevalenza presso alcuni individui e che, se innocui e accettabili in particolari occasioni, possono avere ripercussioni negative in altre, soprattutto quando le false informazioni vengono arbitrariamente diffuse attraverso la rete e i social media o quando vengono difese o non contrastate da esponenti politici o avvalorate dai così detti influencer, che hanno largo *appeal* tra i giovani e i meno giovani.

Per superare abbagli e illusione, per migliorare le condizioni di vita e di salute, per contrastare inaccettabili posizioni perduranti, diviene importante far conoscere e sperimentare le procedure e il modo di rapportarsi alla realtà proprio del metodo scientifico che, pur con i suoi limiti e i suoi errori, guida alla conoscenza, una conoscenza non dogmatica e sempre superabile e migliorabile. Assistiamo infatti, ancor oggi, a comportamenti di rifiuto delle terapie tradizionali e il ricorso a quelle alternative non correlate da lunghi e complessi protocolli sperimentali e prive di evidenze scientifiche. Un discreto gruppo di soggetti nega la responsabilità antropica del cambiamento climatico, ritenuto correlabile alla periodica variazione del numero delle macchie solari, con la conseguenza che, se nessuna responsabilità è legata a comportamenti umani, nessuna azione di mitigazione e di contrasto andrà messa in campo.

Negli Stati Uniti, ma presente anche in altre parti del mondo, sussiste l'opposizione alla teoria evoluzionista a difesa di posizioni creazioniste, accreditando ad alcuni racconti presenti nella Genesi pari o superiore dignità rispetto alle teorie scientifiche.



Qualcuno sostiene che la Terra sia un disco piatto e giunge a negare le numerose missioni spaziali e la stessa presenza degli astronauti sul suolo lunare, ritenendo le foto inviate sulla Terra il frutto di una manipolazione operata dalla NASA, con la collaborazione del governo degli Stati Uniti, in competizione con l'URSS per la "conquista dello spazio".

Come educare al pensiero critico? Come bloccare le informazioni mendaci, contrastare le bufale circolanti, bloccare le scorciatoie cognitive che portano a fare scelte o ad aderire a opinioni senza un'accurata analisi di quali evidenze le supportino e da quale fonte provengano?

Prendendo spunto e utilizzando alcuni esempi del lavoro *Dossier Enseigner l'esprit critique. Qu'est-ce que l'esprit critique?* di Elena Pasquinelli e Mathieu Farina¹ della Fondazione La main à la pâte, si cercherà di dare risposta, anche con esempi e riferimenti sperimentali, ad alcune delle domande che potrebbero essere formulate sul pensiero critico, così da poter organizzare un percorso didattico di contrasto alle bufale circolanti, alle teorie del complotto, alle ideologie che offuscano la ragione, alle varie forme di superstizione e alle concezioni pseudo-scientifiche, che della scienza hanno solo una superficiale parvenza.

Si utilizza spontaneamente il pensiero critico?

In varie occasioni, senza rendersene conto, si fa ricorso al pensiero critico. Un piccolo esempio può esserne la dimostrazione. State camminando nella foresta e si sta facendo buio. I vostri passi diventano più incerti. Prestate maggiore attenzione, controllando ogni dettaglio prima di intraprendere il cammino. Qualcosa vi dice, senza bisogno di precisarlo, che nelle attuali condizioni dovete fidarvi meno del solito della vostra vista, che avete bisogno di informazioni da fonti diverse - forse l'udito - prima di decidere il percorso da intraprendere.

In queste condizioni, non ci vorrà molto perché siate pronti a tornare sui vostri passi. Senza pensarci e senza volerlo, avete usato il vostro pensiero critico: non vi siete limitati a usare le informazioni a disposizione per prendere una decisione, ma le avete valutate in base alla loro affidabilità e avete regolato la vostra fiducia in relazione al valore dei dati a disposizione. Questo vi ha portato a dedicare più tempo e a capire di dover raccogliere più elementi da fonti diverse. In questo caso, tutte le informazioni coinvolte nella situazione presentata provengono da voi: siete voi, attraverso i vostri sensi, la fonte di esse. Si potrebbe considerare una situazione in cui le informazioni provengono da qualcun altro, sono informazioni, per così dire, di seconda mano. Si attiveranno processi analoghi, e, anche in questo caso, si valuterà la fonte in base all'attendibilità della stessa che è frutto sia di conoscenza sia di precedenti riscontri.

L'attivazione del pensiero critico implica anche la capacità di arrestare gli automatismi, le scorciatoie cognitive che portano ad agire rapidamente, e che, in molte occasioni, hanno e devono avere la precedenza.

Lo spirito critico si oppone all'intuizione?

L'intuizione è quel tipo di conoscenza immediata che non si avvale del ragionamento o della consapevolezza. A volte la semplice visione di un volto fornisce elementi grazie ai quali riconoscere la persona, decidere o meno di iniziare un rapporto con lei, interpretarne lo stato d'animo o le caratteristiche psicologiche, come se una sorta di mediatori chimici si fossero attivati.

La rapidità con cui l'intuizione si attiva può però condurre a operare inferenze, a interpretazioni non veritiere.

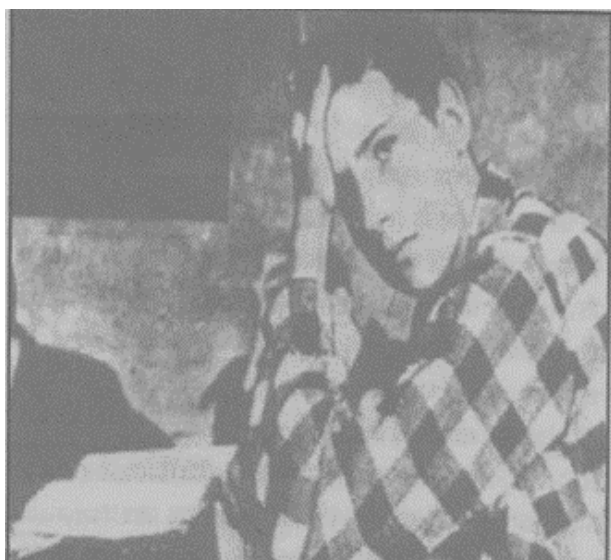
Vedendo un ragazzo che corre, si può supporre che lo faccia perché è in ritardo o perché sta allenandosi, o perché è inseguito da qualcuno; spontaneamente scegliamo una di queste idee, anche se non abbiamo elementi che la possono corroborare. L'errore che potrebbe essere commesso non è comunque rilevante e la nostra e l'altrui vita non avranno un particolare sconvolgimento, ma

1. Pasquinelli E e Farina M, *Dossier Enseigner l'esprit critique. Qu'est-ce que l'esprit critique?* Fondation La main à la pâte, 2020, <https://cqfd-lamap.org/esprit-critique/les-mythes/>

l'inferenza che si attiva nei confronti di una persona o di una situazione può rivelarsi dannosa, attivare stereotipi, comportamenti di esclusione, di evitamento, di rifiuto.

La cosa è ben nota quando si categorizzano situazioni e individui, attribuendo caratteristiche simili a soggetti semplicemente perché appartenenti a uno stesso gruppo, o a uno stesso territorio, o perché presentano caratteristiche somatiche correlate ad una specifica zona di provenienza o cultura. Di fronte poi a situazioni incerte o a immagini confuse si proiettano su di esse aspetti che afferiscono alla nostra personalità, come si evidenzia nel Test di Appercezione Tematica (TAT) di Henry Murray, un test di tipo proiettivo, utilizzato in psicologia e psichiatria per l'indagine della personalità.

Alla presentazione di un'immagine stimolo, come quella riportata nella figura sottostante, segue la richiesta di interpretarla attraverso la narrazione di una storia coerente e aderente allo stimolo, così da fare emergere disposizioni, preferenze, idee implicite, di cui non vi è consapevolezza.



La situazione osservata viene interpretata anche in base a caratteristiche di personalità: nevroticismo, estroversione, apertura, amabilità, coscienziosità². Una stessa situazione viene così descritta in modo differente in momenti diversi o da soggetti diversi.

Intuizione e pensiero critico sono due forme di ragionamento non necessariamente in opposizione tra loro; se possiamo fidarci delle intuizioni quando si ci si trova in una situazione che si è in grado di padroneggiare, come nel caso del riconoscimento di una persona attraverso il volto, in alcune circostanze queste stesse intuizioni possono trarre in inganno e di esse è importante acquisire consapevolezza per evitare deformazioni della realtà.

I bambini hanno spirito critico?

I bambini anche molto piccoli utilizzano strategie per attribuire fiducia alle informazioni provenienti dagli adulti, pur se, secondo il modello epistemologico elaborato da King e Kitchener³, si trovano ancora al livello pre-riflessivo, nel quale la conoscenza è semplice, concreta, assoluta, raggiungibile per via diretta attraverso i sensi o trasmessa dall'autorità (*Ciò che si osserva è vero; Se lo dice il giornale è vero*).

In un esperimento, i bambini della scuola materna guardavano due video. In ognuno di essi, un adulto faceva riferimento a oggetti o a funzioni a loro sconosciute, utilizzando nomi di fantasia. Per esempio, l'adulto A, familiare al bimbo, chiamava l'oggetto "snegg", mentre l'adulto B, non conosciuto dal bambino, lo chiamava "hoog". Chiedendo successivamente ai piccoli il nome dell'oggetto, questi facevano riferimento al nome pronunciato dall'adulto conosciuto. I bambini non sceglievano l'informatore a caso, ma utilizzavano l'indizio delle familiarità.

2. McCrae R e Costa P, *Personality in Adulthood. A five factor theory perspective*, New York. Guilford Press, 1990.

3. Kitchener KS e King PM, *Reflective judgments: Concepts of justification and their relationship to age and education*, Journal of Applied Developmental Psychology, 2:89-116, 1981; Kitchener KS

Cognition, metacognition, and epistemic cognition. A three-

e-level model of cognitive processing, Human Development, 26:222-232, 1983. Secondo il modello epistemologico di Kitchener e King, lo sviluppo del giudizio riflessivo, inteso come punto di arrivo ultimo del ra-

gionamento, comprende 7 stadi raggruppabili in 3 livelli: 3 stadi nel livello pre-riflessivo, 2 stadi nel livello quasi-riflessivo, 2 stadi nel livello riflessivo.

In un secondo esperimento, condotto con bambini di 3 e 4 anni, veniva chiesto a due informatori, entrambi sconosciuti, di nominare oggetti comuni noti ai bimbi. Uno dei due adulti commetteva un errore (per esempio, chiamava una tazza “palla”), mentre l’altro assegnava agli oggetti il nome corretto. In questo caso il bambino sceglieva il nome pronunciato dall’adulto reputato più competente, operando una scelta sulla base delle competenze dimostrate.

In un terzo esperimento venivano confrontati gli effetti della familiarità e dell’accuratezza. Il bambino si trovava di fronte a un informatore familiare ma apparentemente incompetente e a un informatore sconosciuto ma competente. Per i bambini di 3 anni, il fatto che l’adulto familiare commettesse errori non era sufficiente a far perdere la loro fiducia. Al contrario, per i bambini di 5 anni, la correttezza diventava una condizione di affidabilità più importante della familiarità.

In un quarto esperimento, i bambini assistevano ad una situazione di disaccordo tra due adulti: uno solo dei quali riceveva l’approvazione degli adulti che assistevano alla scena. In questo caso, la fiducia veniva data all’adulto che riceveva l’approvazione dal maggior numero di persone. I bambini piccoli sono quindi in grado di utilizzare e combinare diversi criteri di valutazione, acquisiti gradualmente anche con l’esperienza.

Pensiero critico significa essere pronti a dubitare di tutto?

La “strategia del dubbio” è diventata un potente strumento utilizzato per manipolare l’opinione pubblica, per screditare, ad esempio, i risultati scientifici concordanti riguardanti l’effetto del tabacco sulla salute o dei vaccini come strumenti di prevenzione o gli effetti delle attività umane sul riscaldamento globale, facendo simultaneamente leva sui bias di conferma che portano a dar credito alle informazioni volte a confermare idee e opinioni personali.

Una forte critica al lavoro degli scienziati si è verificata durante la pandemia da Covid-19, quando alcuni pseudoesperti, facendo leva su specifiche forme di disaccordo tra i ricercatori e i sanitari,

negavano l’importanza del vaccino o del distanziamento, consigliando invece farmaci capaci di fortificare il sistema immunitario o dissertando sulle più corrette modalità di sanificazione delle strade o sull’utilizzo di alcuni alimenti (peperoncino), bevande (alcolici) e principi nutritivi (vitamina C, proteine), grazie ai quali sconfiggere il virus.

Poiché anche nella scienza la verità assoluta non esiste e la certezza dei risultati di una sperimentazione o di una terapia non potrà mai essere del 100%, questi elementi di incertezza vengono volutamente utilizzati per motivi ideologici, economici, politici.

Chi conosce e pratica il metodo scientifico sa che l’errore e la falsificazione sono il motore dell’evoluzione della conoscenza e che riconoscere di poter sbagliare favorisce forme di controllo collaborativo, che dovrebbero proprio per questo assicurare e far rifuggire dalle opinioni non suffragate da evidenze sperimentali.

Il dubbio scettico, il dubitare per dubitare e nel quale il dubbio è fine a sé stesso, porta alla totale sfiducia nelle possibilità di conoscenza e non appartiene al pensatore critico, che invece deve essere capace di giudicare le informazioni, in base alla loro qualità e alle prove che le supportano.

Una mente critica è una mente aperta?

Una persona che voglia formarsi un’opinione sul fatto che l’uomo abbia effettivamente camminato sulla Luna potrebbe voler essere la più aperta possibile a tutte le prove e a tutte le informazioni disponibili. Così facendo, inizierebbe ad attribuire lo stesso valore ai dati forniti da siti ufficiali, come quello della NASA, e a quelli letti su forum o blog di sconosciuti. Essere “aperti” in modo non mirato porterebbe a costruire una visione distorta della realtà, ad accettare le idee e le opinioni di tutti, indiscriminatamente.

In modo simile, un insegnante, nel voler manifestare la propria apertura mentale, potrebbe esporre la diversità dei punti di vista che circondano una teoria, per esempio, insegnando la teoria di Darwin proporre anche le posizioni creazionistiche o, esplicitando il legame tra attività umana

e cambiamento climatico, indicare cause che nel frattempo sono state smentite. In questo modo, si metterebbero sullo stesso piano una teoria basata su prove e una tesi invalidata sulla base dei dati evidenziati.

Non tutte le idee quindi vanno poste allo stesso livello, alcune meritano più fiducia di altre, perché supportate da un maggior numero di prove e da prove più accurate e condivise. Come non è corretto dubitare di tutto, non è altrettanto corretto ritenere a priori che tutte le informazioni debbano essere accolte.

Il pensiero critico è avulso dalla conoscenza?

La conoscenza di un argomento per il quale si ricevono informazioni consente di valutarle con maggior efficienza e, nel contempo, di individuare con più abilità l'autorevolezza delle fonti da cui queste provengono. La conoscenza, che quando possibile va incrementata, rappresenta uno degli elementi sui quali si fonda il pensiero critico, a cui si associano la capacità di riconoscere i tratti della propria personalità, il personale stile cognitivo, la maggiore o minore propensione alla fiducia o al sospetto, nonché le risorse cognitive che si intendono dedicare al messaggio.

Oggi purtroppo molti si ritengono più esperti e colti di quanto siano realmente. Questa situazione, nota come effetto Dunning-Kruger, dal nome dei due socio-psicologi che l'hanno descritta, è una distorsione cognitiva nella quale individui poco esperti e poco competenti in un campo tendono a sovrastimare la propria preparazione giudicandola, a torto, superiore alla media.

Con la diffusione del Web 2.0 e la partecipazione interattiva degli utenti alla pubblicazione di contenuti, si è verificata inoltre un'orizzontalizzazione del sapere, per cui alcuni pensano che consultando molti siti si diventa esperti, si possa fornire la propria opinione, si possa avere un ruolo nell'imporre o contrastare scelte e decisioni delle autorità e dei "veri" esperti. Poiché non è possibile diventare esperti di tutto, il più delle volte, si dovrà riconoscere di non possedere abbastanza conoscenze per supportare o contrastare un'affermazione, astenendosi anche dal diffonderla ad altri.

Il pensiero critico può essere insegnato?

Allenarci e allenare a riconoscere le scorciatoie cognitive e i bias che influenzano la valutazione delle informazioni, far cogliere come sovente la correlazione tra due fenomeni venga confusa come relazione di causa-effetto, aiutare a sperimentare direttamente il metodo scientifico e a interpretare i motivi e le modalità con cui si creano e si diffondono fake news costituiscono attività e esercizi da praticare e che, potenziando il pensiero critico, possono aiutare a non accettare incondizionatamente le informazioni che provengono da più parti. Non va dimenticato inoltre che la diffusione sempre più capillare dei computer e lo sviluppo del Web hanno comportato profondi cambiamenti nel modo in cui si acquisiscono le conoscenze e va considerato il fatto che chi utilizza internet diviene simultaneamente mittente e destinatario della comunicazione e del sapere.

È sempre più cogente, pertanto, sviluppare le cosiddette *information skills*, quelle abilità con cui selezionare e valutare le informazioni reperibili in rete. Come suggerito da Alexander e Tate⁴, è opportuno guidare a esaminare l'autorevolezza della fonte (*Le informazioni provengono dal sito di un'organizzazione, associazione o struttura riconosciuta?*) e dell'autore dell'informazione (*Vengono fornite le generalità e l'eventuale curriculum dell'autore?*), l'aggiornamento del sito e i collegamenti in esso presenti (*Il collegamento rimanda a una pagina web che contiene un materiale rispondente o diverso da quello descritto nel link?*), la qualità delle informazioni (*Le informazioni sono ben organizzate logicamente? Il linguaggio è sintatticamente corretto? Le informazioni sono supportate da evidenze?*).

Altro aspetto da considerare è il far riflettere sul livello di conoscenza posseduto su un certo ambito del sapere. Come sottolineato da Hirsh⁵, ricer-

4. Alexander JE e Tate MA, *Web wisdom: How to evaluate and create information quality on the Web*, Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1999.

5. Hirsh S, *Children's relevance criteria and information seeking on electronic resources*, Journal of the American Society for Information Science, 50:1265-1283, 1999

care informazioni su un argomento di cui si conosce poco o nulla, influenza la scelta dei criteri di valutazione e di selezione delle informazioni.

Il pensiero critico, una volta acquisito, si mantiene e ci protegge da tutte le fake news?

Lo spirito critico va costantemente allenato e potenziato, in quanto le situazioni con cui si viene in contatto, lo stato psicologico e cognitivo del momento, le conoscenze possedute variano in continuazione e cambiano nel tempo e con l'età. "Più che macchine pensanti che si emozionano, siamo macchine emotive che pensano"⁶. Si nasce con una sorta di predisposizione psicologica a credere al soprannaturale, a scivolare inconsapevolmente nell'irrazionale, ad affidarsi ad entità superiori per trovare conforto o lenire gli stati d'ansia o per giustificare eventi negativi di cui siamo stati protagonisti.

Anche i soggetti più esperti e colti utilizzano strategie per attirare la fortuna, manifestano delle superstizioni, ricorrono al pensiero magico o religioso, commettono errori di valutazione quando sono richieste decisioni e scelte tempestive, o quando non hanno il controllo di una situazione o la conoscenza di una tematica.

Non fanno eccezione gli stessi premi Nobel⁷ proprio perché la razionalità è un aspetto non dominante della nostra mente, in cui prevale invece la irrazionalità (sentimenti, opinioni, emozioni, desideri).

Riconoscere le fragilità e i limiti personali costituisce comunque una strategia efficace per riflettere sul fatto che, per esercitare lo spirito critico, sia necessario soddisfare una serie di condizioni: analisi approfondita dei fatti e delle informazioni, tempo adeguato, attenzione alle personali credenze epistemiche, ossia alle credenze che ciascuno di noi possiede su che cos'è la conoscenza e come si arriva a conoscere⁸, reale desiderio di giungere a un'informazione di qualità.

Il pensiero critico oltre a esercizio e allenamento costante, richiede anche umiltà intellettuale.

Il pensiero critico porta a un vantaggio collettivo?

Informazioni corrette, frutto di un lavoro di ricerca e di confronto, sottoposte a ripetute verifiche, costantemente analizzate, adattate e implementate sono di utilità non solo per il singolo ma per l'intera società.

Poiché lo spirito critico è anche uno spirito di impegno e di cooperazione, in una società basata sulla conoscenza, il diritto di beneficiare di un'informazione di qualità va di pari passo con un triplice dovere: garantire che l'informazione di qualità sia diffusa, intervenire per correggere l'informazione o segnalarne la scarsa qualità ed esercitare pressioni affinché l'informazione diffusa sia la più corretta possibile.

Un esempio di collaborazione tra cittadini per migliorare le informazioni in circolazione è probabilmente dato da Wikipedia, un'enciclopedia collaborativa in cui l'accuratezza del risultato finale è garantita dal fatto che ogni contributore apporta il proprio bagaglio di conoscenze, correggendo gli errori degli altri e completando le informazioni. È grazie a questo continuo processo di revisione e al dialogo a distanza tra gli autori che le voci dell'enciclopedia vengono costantemente migliorate.

Questo non significa necessariamente che informazioni corrette e largamente condivise vengano accettate da tutti, che non vi saranno oppositori o che non verranno alterate o distorte, come sovente accade quando una notizia, passando di bocca in bocca, giunta ad un qualche anello della catena risulta diversa dalla notizia iniziale.

Parimenti non si può escludere che si arresterà la diffusione delle notizie false, perché, come già molto tempo fa sosteneva il celebre scrittore Jonathan Swift⁹, "La falsità spicca il volo e la verità la segue zoppicando". ●

6. Damasio A, *L'errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*. Milano, Adelphi, 1995.

7. Fuso S, *Strafalcioni da Nobel: Storie dei vincitori del più prestigioso premio del mondo... e delle loro più solenni cantonate*, Roma, Carocci, 2019.

8. Hartley K e Bendixen LD, 30:22-26, 2001.

Educational research in the internet age: Examining the role of individual characteristics, Educational Researcher,

9. Swift J in *The examiner* n. 15, Londra 2-9 novembre 1710, 2.

Percepire, credere e conoscere

Silvano Fuso

Every living organism, to survive, needs to build interpretative models of the surrounding reality. However, these models are often naive and illusory. Science allows us to check these models and continually correct them.

Key words: *Perception, Belief, Knowledge.*

Interagire col mondo

Gli esseri viventi rientrano in quelli che in termodinamica vengono chiamati “sistemi aperti”: possono cioè interagire con l’ambiente esterno scambiando materia ed energia. La vita stessa è basata su tali interazioni.

Nei sistemi biologici più semplici queste interazioni avvengono in maniera automatica, mediante segnali fisici e/o chimici, a volte piuttosto semplici e talvolta più complessi. Gli organismi più evoluti sono dotati di un sistema nervoso. Esso è una struttura, più o meno complessa dal punto di vista anatomico e funzionale, in grado di gestire un vero e proprio scambio di informazioni tra l’organismo e l’ambiente.

La complessità del sistema nervoso degli esseri umani fa sì che noi siamo consapevoli di noi stessi, del nostro essere al mondo e delle caratteristiche possedute dall’ambiente in cui viviamo. Tutte le informazioni gestite dal nostro sistema nervoso costituiscono ciò che chiamiamo conoscenza.

Non siamo tuttavia i soli ad avere questa capacità. Molti altri animali posseggono una conoscenza di sé e dell’ambiente in cui vivono. Essi hanno infatti, al pari di noi, la capacità di elaborare gli stimoli che ricevono dall’esterno, sulla base dei quali effettuano le loro scelte e determinano i loro comportamenti. La capacità di elaborare in modo corretto tali informazioni spesso determina la loro stessa sopravvivenza o la loro morte. Una preda che percepisca in modo corretto, attraverso informazioni olfattive, visive o acustiche, la presenza di un predatore può mettersi in fuga e salvarsi la vita. Un’altra, che non riesca a raggiungere lo stesso tipo di conoscenza della realtà circostante, è destinata a diventarne il pasto.

Noi esseri umani, al pari degli altri esseri viventi, siamo il frutto dell’evoluzione biologica che abbiamo alle spalle. Dal punto di vista fisico non siamo



particolarmente ben forniti: non abbiamo artigli, zanne o altri mezzi di offesa, siamo in grado di generare una forza muscolare piuttosto debole, non siamo molto veloci nella corsa e non abbiamo protezioni naturali quali corazze cornee o scaglie. L'evoluzione biologica ci ha tuttavia dotato di un sistema nervoso piuttosto complesso che ci consente di elaborare in maniera sofisticata le informazioni derivanti dalla interazione tra i nostri organi di senso e la realtà esterna.

A scuola ci hanno insegnato che i sensi sono cinque: gusto, olfatto, tatto, vista e udito. Gusto e olfatto agiscono per via chimica, gli altri sensi prevalentemente sfruttando segnali fisici.

Volendo essere rigorosi, la scienza ha dimostrato l'esistenza di altri due sensi che, a differenza degli altri cinque, non ci forniscono informazioni sul mondo esterno, bensì sul nostro stesso corpo. Il primo si chiama tecnicamente *propriocezione* ed è il senso che ci consente di sapere quale sia la posizione dei nostri arti nello spazio. Ad esempio, anche se siamo immersi nell'oscurità più assoluta, siamo perfettamente consapevoli se un nostro braccio è alzato o abbassato. Ciò grazie a speciali recettori della pelle, dei muscoli e dei tendini che inviano costantemente al cervello informazioni relative alla collocazione degli arti nello spazio. Un altro senso che ci fornisce informazioni sul nostro corpo è quello dell'equilibrio, chiamato anche *senso vestibolare*. Esso ha sede nell'orecchio interno e ci consente, ad esempio, di camminare eretti senza cadere e di renderci conto dei cambiamenti di posizione del nostro corpo nello spazio. Ciascun senso viene quindi esercitato da organi specifici che inviano i loro stimoli al cervello il quale, elaborandoli opportunamente, ci consente di percepire le sensazioni che ben conosciamo. I cinque sensi rappresentano per così dire "finestre sul mondo" attraverso le quali noi percepiamo la realtà esterna. È ben noto che essi hanno dei limiti ben precisi e ci consentono di percepire solo una porzione di realtà. Qualcuno ha detto che il nostro cervello è l'oggetto più complicato che esista nell'universo. Eppure, apparentemente, non sembrerebbe. Si tratta infatti di una massa grigiastra e molliccia che pesa circa un chilogrammo e mezzo

e che appare tutto sommato abbastanza insignificante. Questa piccola massa tuttavia ci consente di fare tutto quello che facciamo e di essere ciò che siamo. Essa regola infatti tutte le nostre funzioni: da quelle involontarie, quali il battito cardiaco o lo stimolo che ci induce ad andare in bagno, a quelle più nobili che hanno consentito al genere umano di scrivere *La divina commedia*, comporre *Il Flauto magico* ed elaborare teorie imponenti quali la meccanica quantistica e la relatività generale. Anche la nostra autocoscienza, la nostra identità, quella che di solito chiamiamo mente (e che qualcuno chiama anima) è frutto del nostro cervello. Possiamo quindi tranquillamente affermare che noi siamo ciò che il nostro cervello fa.

A livello microscopico il cervello è costituito da oltre cento miliardi di cellule. Queste cellule, chiamate *neuroni*, consentono la trasmissione delle informazioni all'interno del cervello e la comunicazione tra il cervello e le varie parti del nostro corpo e viceversa. Ogni neurone è caratterizzato dai cosiddetti *dendriti* che consentono di ricevere le informazioni. Ogni neurone comunica poi con gli altri attraverso una struttura a coda chiamata *assone*. Ciascun neurone scambia informazioni con migliaia di altri neuroni. È stato calcolato che esistono oltre cento trilioni di connessioni (ricordiamo che un trilione è un milione di milioni di milioni, ovvero 10^{18}). Questo significa che esistono cento trilioni di modi diversi attraverso i quali un'informazione può essere condivisa ed elaborata. È proprio questo straordinario numero di connessioni a rendere il cervello l'oggetto più complesso dell'universo e a consentirgli di fare tutte le cose straordinarie che riesce a compiere. La complessità del cervello ha fatto sì che esso restasse per moltissimo tempo un oggetto misterioso. Gli antichi addirittura avevano sottovalutato la sua funzione: ad esempio Aristotele (384 o 383-322 a.C.) pensava che servisse semplicemente a raffreddare il sangue, come una sorta di radiatore. Attualmente vi sono ancora moltissime cose che non sappiamo relativamente al cervello, ma per fortuna le neuroscienze hanno fatto moltissimi passi in avanti e ci hanno consentito di imparare una miriade di cose.

Ingannevolezza della mente

Le neuroscienze ci hanno anche insegnato che il nostro cervello, pur presentando capacità sorprendenti, molto spesso commette errori abbastanza clamorosi nell'elaborare i segnali inviati dagli organi di senso. Questi errori ci conducono a interpretare in modo erroneo la realtà¹.

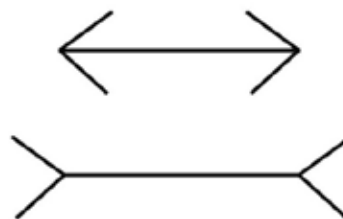
Qui si potrebbe aprire un bel problema di carattere filosofico. Cosa sia e come sia fatta la realtà infatti non lo può sapere nessuno. Quella che chiamiamo realtà infatti è solamente ciò che i nostri organi di senso e il nostro cervello ci consentono di percepire relativamente a ciò che è esterno a noi. Quindi, in definitiva, quella che noi chiamiamo realtà è un'immagine prodotta dalla nostra mente. Queste considerazioni hanno addirittura indotto qualcuno a posizioni talmente radicali da negare l'esistenza di una realtà esterna². Si tratta tuttavia di posizioni che, pur essendo difficilmente confutabili dal punto di vista logico, sono piuttosto sterili e non portano da nessuna parte.

Assumeremo quindi che esista una realtà esterna, indipendente da noi. Il problema però è un altro. Se tutto ciò che percepiamo della realtà è filtrato dai nostri organi di senso e dal nostro cervello e non esistono altre vie di accesso, come possiamo affermare che talvolta il nostro cervello ci fornisce una interpretazione errata della realtà? Come facciamo a conoscere quale sia l'interpretazione corretta? Una risposta definitiva a tali domande non la potremo mai ottenere. Quindi mettiamoci pure il cuore in pace: noi non sapremo mai come sia veramente la realtà. E probabilmente non ha nemmeno molto senso chiederselo. Qualsiasi descrizione della realtà, infatti, presuppone l'esistenza di un osservatore che, inevitabilmente, fornisce la sua interpretazione soggettiva.

Tuttavia il nostro stesso cervello possiede determinate capacità, che solitamente chiamiamo razionali, che ci consentono di capire se un certo

tipo di interpretazione della realtà sia migliore o peggiore di un'altra.

Osserviamo, ad esempio, la seguente figura:



Illusione di Müller-Lyer: i due segmenti uguali ci appaiono di lunghezza diversa.

A prima vista il segmento superiore ci appare più corto di quello inferiore. Questa è l'interpretazione immediata che i nostri occhi e il nostro cervello ci forniscono di tale porzione di realtà. Tuttavia se ritagliassimo i due segmenti e li sovrapponessimo, ci renderemmo conto che essi hanno esattamente la stessa lunghezza. La stessa conclusione potremmo raggiungerla utilizzando un righello per misurare i due segmenti. Inoltre, se noi copriassimo o cancellassimo le frecce presenti agli estremi dei due segmenti, anche una semplice osservazione visiva ce li farebbe apparire correttamente di lunghezza uguale.

Di fronte a tante evidenze che mostrano inequivocabilmente l'eguaglianza della lunghezza dei due segmenti, il nostro cervello ci porta a concludere che la nostra prima impressione era errata e, in particolare, era dovuta alla presenza delle frecce ai loro estremi. In definitiva quindi l'interpretazione che giudica di uguale lunghezza i due segmenti è decisamente migliore di quella che li stima di lunghezza differente.

Oltre agli errori percettivi, il nostro cervello può anche commetterne di tipo cognitivo, ovvero cadere vittima di errati ragionamenti e/o calcoli.

1. Lotto B, *Percezioni. Come il cervello costruisce il mondo*, Bollati Boringhieri, Torino 2017.

2. Tali concezioni filosofiche vanno sotto il nome di *solipsismo*.

Consideriamo, ad esempio, il seguente quesito: “Una racchetta e una pallina da ping-pong costano 1 euro e 10 centesimi. La racchetta costa 1 euro più della pallina. Quanto costa quest’ultima?” (prima di proseguire la lettura, provate a rispondere).

Molta gente è portata a fornire intuitivamente quella che sembra la risposta più immediatamente disponibile: “10 centesimi”. In realtà la risposta corretta è: “5 centesimi” (nel primo caso infatti la differenza di costo tra la racchetta e la pallina sarebbe di 90 centesimi e non di 1 euro). Oltre a commettere errori percettivi e di ragionamento, molto frequentemente il nostro cervello ci induce a maturare determinate convinzioni semplicemente perché abbiamo sempre sentito ripetere che le cose stanno in un certo modo, ci siamo fidati e non ci siamo mai presi la briga di controllare. Diversi esempi lo confermano. Molte persone sono assolutamente convinte che la celebre frase “Suonala ancora, Sam” sia tratta dall’altrettanto celebre film *Casablanca*, interpretato da Humphrey Bogart e Ingrid Bergman nel 1942. In realtà nel film del regista Michael Curtiz quella frase non compare affatto. Nella versione originale in inglese la frase pronunciata da Ingrid Bergman afferma infatti: “Play Sam. Play As time goes by”. E la frase non compare neppure nella versione doppiata in italiano, dove la traduzione diventa: “Suona la nostra canzone, Sam, come a quel tempo [...]. Suonala Sam, suona mentre il tempo passa”³.

Un altro esempio simile è rappresentato dalla frase “Elementare Watson” che Sherlock Holmes pronunciarebbe spesso all’amico e collaboratore di tante indagini. In realtà Sherlock Holmes non ha mai pronunciato questa frase e il suo autore Arthur Conan Doyle (1859-1930) non l’ha mai scritta. Probabilmente essa nasce da una pagina del racconto *Il caso dell’uomo deforme* (del

1893) in cui Watson dice: “Semplice!” e Holmes risponde: “Elementare!”.

In entrambi i casi si tratta di una vera e propria falsa memoria collettiva. Questo fenomeno è stato chiamato “effetto Mandela”⁴ dalla studiosa americana Fiona Broome. La Broome confessò infatti di essere stata assolutamente convinta che Nelson Mandela fosse morto in prigione negli anni ottanta e constatò che molte altre persone condividevano questa convinzione totalmente erronea (Mandela, come è noto, uscì di prigione nel 1990 e morì di malattia nel 2013).

Questi semplici esempi (se ne potrebbero fare molti altri) mostrano come spesso i giudizi immediati che il nostro cervello ci induce a esprimere siano del tutto errati. Per fortuna però il nostro stesso cervello è in grado di rendersene conto e di correggere i suoi stessi errori semplicemente effettuando controlli, possibilmente incrociati. Ovvero cercando di osservare la realtà in modi diversi, eventualmente impiegando strumenti e/o formulando ipotesi interpretative differenti da quella immediata e confrontando le conseguenze che esse consentono di trarre. In altri casi è sufficiente effettuare dei semplici calcoli, ovvero sequenze di concatenazioni logiche controllate. Se ci pensiamo bene questo tipo di approccio alla realtà ha un nome: si chiama scienza!

L’umanità ha scoperto piuttosto tardi la scienza. Per millenni infatti si è fidata delle impressioni immediate che il proprio cervello forniva relativamente alla realtà. Questo è il senso della frase dell’etologo Konrad Lorenz (1903-1989), secondo il quale: “L’umanità, impegnata a conquistare la conoscenza di sé stessa e del mondo che la circonda, ha imparato prima a riflettere, molto più tardi a controllare!”⁵.

La mancanza di controlli ha indotto l’uomo per millenni a credere in cose rivelatesi poi false e frutto di illusioni.

3. Si veda, ad esempio: <https://www.youtube.com/watch?v=Hlt8dHitER4>

4. Lincos S, *L’effetto Mandela*, Queryonline, 30 maggio 2017 <http://www.queryonline.it/2017/05/30/leffetto-mandela/comment-page-1/>

5. Lorenz K, *La scienza naturale dell’uomo: il manoscritto russo*, Mondadori, Milano 1995, 29.

La visione istintiva del mondo:

la scienza ingenua

Se ci troviamo di notte in un luogo pianeggiante e lontano da fonti di luce e guardiamo verso l'alto, abbiamo la sensazione di avere sopra di noi una cupola nera costellata da puntini luminosi.

Di questa ipotetica cupola abbiamo la sensazione di occupare esattamente il centro. Se dalla stessa posizione guardiamo il cielo di giorno, avremo la sensazione che l'ipotetica cupola venga solcata dal Sole che si muove, descrivendo un arco di circonferenza, da levante verso ponente. Anche la Luna sembra muoversi su questa cupola.

Queste osservazioni erano ben note agli antichi, abituati a guardare il cielo molto più di quanto non lo facciamo noi, uomini del terzo millennio.

Un matematico e astronomo greco di nome Eudosso di Cnido (408-355 a.C.) elaborò per primo un modello di universo geocentrico, ovvero con la Terra collocata al centro. Secondo Eudosso, l'universo era costituito da una serie di sfere concentriche di cui la Terra occupava appunto quella centrale. Concezioni analoghe vennero sostenute da Aristotele (384 o 383-322 a.C.).

In epoca successiva, un astrologo, astronomo e geografo greco di nome Claudio Tolomeo (100 d.C. circa-175 d.C. circa) scrisse un'opera chiamata inizialmente *Mathematikè syntaxis* (Trattato matematico) ma successivamente denominata, nella sua versione araba, *Almagesto* (Il grandissimo). In essa Tolomeo elaborò un modello geometrico dell'universo in cui la Terra si trovava al centro, mentre il Sole, la Luna e gli altri corpi celesti le ruotavano intorno su orbite circolari. Nell'*Almagesto* Tolomeo raccolse le conoscenze astronomiche elaborate dai Greci che lo avevano preceduto, basandosi in gran parte su un lavoro analogo svolto tre secoli prima da un altro studioso di nome Ipparco (200-120 a.C.).

Le concezioni geocentriche, che raggiunsero la loro massima espressione nel modello tolemaico dell'universo, erano in perfetto accordo con il senso comune, ovvero con la sensazione immediata che chiunque può provare osservando il cielo di giorno e di notte. La validità di tali

concezioni sembrava talmente evidente che esse vennero ritenute vere per ben quasi due millenni.

Già nell'antichità non mancarono alcuni autori che proposero visioni alternative. Eraclide Pontico (385-322 a.C.), contemporaneo di Eudosso, ipotizzò che il moto apparente degli astri sulla volta terrestre derivasse da un moto rotatorio della Terra su sé stessa.

Aristarco di Samo (310 a.C. circa-230 a.C. circa), non solo condivideva l'ipotesi di Eraclide, ma andò ben oltre proponendo invece un modello dell'universo in cui il Sole era fermo ed era la Terra a ruotargli intorno (sistema eliocentrico).

Tali voci però rimasero isolate e vennero duramente criticate da coloro che, fedeli alle impressioni immediate fornite dal nostro cervello, ritenevano più evidente l'ipotesi geocentrica.

Quest'ultima, tuttavia, non era affatto priva di difficoltà. Le osservazioni astronomiche, infatti, avevano evidenziato strane traiettorie di alcuni corpi celesti che a volte descrivono una sorta di "cappio", anziché armoniose circonferenze. Per giustificare tali osservazioni, salvando al tempo stesso l'ipotesi geocentrica, vennero elaborate complesse congetture. Una di queste, formulata dallo stesso Tolomeo, prende il nome di teoria degli epicicli. Secondo tale ipotesi, alcuni pianeti si troverebbero su una sfera minore (detta appunto epiciclo) che ruoterebbe intorno a un centro posto sulla superficie della sfera principale (chiamata deferente). La combinazione del moto circolare dell'epiciclo e di quello della sfera principale determinerebbe le apparenti anomalie delle orbite di alcuni pianeti.

Questo celebre esempio storico illustra bene un'altra caratteristica tipica del nostro cervello. Quando abbiamo una credenza, alla quale siamo particolarmente affezionati, raramente siamo disposti a rinunciarvi, anche se troviamo evidenze che la mettono in discussione. Il nostro cervello, infatti, preferisce trovare giustificazioni, talvolta anche abbastanza bizzarre e contorte, per quelle evidenze, pur di salvare la nostra credenza. Ognuno di noi, facendo un accurato esame di coscienza e cercando di essere sincero con sé

stesso, può trovare esempi che lo riguardano in prima persona. La storia del pensiero è piena di esempi di questo tipo.

Alla credenza nella concezione geocentrica dell'universo, oltre all'erronea evidenza immediata, contribuivano anche motivazioni di tipo puramente ideologico. L'uomo ha da sempre avuto un'elevata stima di sé e l'idea di trovarsi al centro dell'universo aveva indubbiamente un'intensa attrattiva e un indubbio motivo di orgoglio. A tali motivazioni autocelebrative contribuivano non poco le credenze religiose che di esse a loro volta sono figlie.

Ciò evidenzia un'altra caratteristica del nostro cervello: quella di confondere spesso la realtà con i propri desideri. Se ci fa piacere a livello emotivo che una cosa sia in un certo modo, finiremo molto facilmente con crederci, anche a dispetto di evidenze palesemente contrarie.

Abbiamo citato, *en passant*, Aristotele. Egli è stato indubbiamente uno dei massimi pensatori dell'antichità che ha dato contributi originali in vari ambiti del pensiero. Oltre ad aver contribuito a diffondere le concezioni geocentriche, Aristotele ha influenzato fortemente, per quasi due millenni, la concezione umana della realtà fisica. E la fisica aristotelica, a sua volta, è stata fortemente condizionata dal senso comune e dalla percezione immediata della realtà.

Gli elementi caratteristici della fisica aristotelica (sviluppati, appunto, nel volume *Fisica*, trattato in otto libri, databile intorno al IV secolo a.C.) sono i seguenti: geocentrismo, finitezza dell'universo, netta distinzione tra mondo terrestre (sublunare) e quello celeste, teoria del moto, non considerazione della forza di gravità (Aristotele conosce solo il peso come proprietà naturale dei corpi), negazione dell'esistenza del vuoto, assenza di attenzione agli aspetti quantitativi, adozione delle cause finali (scopi, funzioni) nella spiegazione dei fenomeni naturali.

Riguardo alla teoria del moto, Aristotele sostiene che nel mondo celeste i moti naturali siano quelli circolari, tipici del mondo degli astri, e quelli rettilinei, tipici del mondo terrestre. Inoltre ogni corpo tenderebbe al suo luogo naturale. Aristote-

le sostiene la teoria dei quattro elementi, secondo la quale tutto ciò che esiste è costituito da terra, acqua, fuoco e aria. Ciascun elemento tende a muoversi verso l'alto o verso il basso. La terra, considerata elemento pesante, tende a muoversi verso il basso. E il punto più basso dell'universo è il centro della Terra. Il fuoco è considerato l'elemento più leggero e quindi tende a muoversi verso l'alto. L'acqua e l'aria hanno caratteristiche intermedie. I corpi reali sono composti dai vari elementi e, a seconda della prevalenza di uno o dell'altro, si muoveranno verso l'alto o verso il basso.

Aristotele ignora totalmente il principio di inerzia e quindi, secondo lui, per sostenere il moto, è necessario un motore, ovvero una causa. Questa causa è identificabile con la forza. Nella fisica aristotelica la forza applicata a un corpo è proporzionale alla velocità che esso assume. Da Newton in poi noi sappiamo invece che la forza è direttamente proporzionale non alla velocità, bensì all'accelerazione (variazione di velocità nel tempo): ma tale concetto era totalmente ignorato da Aristotele.

La fisica aristotelica sopravvisse per quasi duemila anni, finché Galileo, nel seicento, ne dimostrò la falsità basandosi su concrete evidenze sperimentali che andassero oltre le apparenze immediate.

Diversi studi⁶ hanno mostrato che la fisica aristotelica è in buona parte analoga a quella ingenua sviluppata dai bambini o da adulti che non abbiano mai studiato fisica a scuola. Ma anche in coloro che hanno studiato un po' di fisica, la visione ingenua e aristotelica della realtà è in genere prevalente. La percezione intuitiva della realtà è più forte di quanto si è appreso attraverso un suo studio razionale e molto spesso affiora prepotentemente. La fisica (e in generale la scienza) ingenua⁷ ci porta molto spesso a fornire inter-

6. Shanon B, *Aristotelianism, Newtonianism, and the physics of the layman*, Perception, 5:241-243, 1976; Champagne A, Klopfer L, Anderson J, *Factors influencing the learning of classical mechanics*, American Journal of Physics, 48:1074-1079, 1980.

7. Bozzi P, *La fisica ingenua. Studi di psicologia della percezione*, Garzanti, Milano 1999.

pretazioni erronee della realtà. Evidentemente il nostro cervello attribuisce molta importanza alla testimonianza diretta dei sensi, a dispetto di ciò che la scienza moderna ci ha insegnato.

Questo fatto è sicuramente interpretabile in senso evolutivo. Il nostro cervello si è plasmato nel corso dei millenni per consentirci di sopravvivere e riprodurci e a tale scopo la fisica ingenua è tutto sommato sufficiente. Per riuscire a vivere in una foresta o in una savana non c'è bisogno di conoscere i principi della dinamica newtoniana e tanto meno quelli della relatività e della meccanica quantistica. È sufficiente sapere che se salgo su un albero rischio di cadere. Che se voglio salvarmi da un leone che mi ricorre, devo correre più velocemente di lui. E che, per correre velocemente, le mie gambe devono esercitare una forza adeguata. Tutte cose che la fisica aristotelica mi consente di capire.

Conclusioni

Le considerazioni fin qui svolte spiegano come mai tante persone mantengano convinzioni oramai da tempo confutate dalla scienza. Questo spiega tra l'altro la popolarità di molte pseudoscienze e un purtroppo diffuso atteggiamento antiscientifico. La scienza, che spesso è in contrasto con la nostra emotività e i nostri desideri, viene infatti spesso rifiutata preferendo a essa confortanti bugie.

Per contrastare questi fenomeni non basta però una semplice opera di *debunking* e tanto meno un atteggiamento cattedratico che spesso porta a un irrigidimento sulle proprie convinzioni. La comprensione delle cause che portano all'accettazione di certe false credenze è infatti il primo passo per cercare di contrastarle. Inoltre la consapevolezza dei limiti e dell'ingannevolezza della nostra mente è fondamentale affinché ognuno di noi riesca autonomamente ad attuare un'opera di autoprevenzione. Inutile dire che affrontare tali tematiche sui banchi di scuola appare la via maestra per lo sviluppo del senso critico e di una mentalità autenticamente scientifica. ●

Antonio Damasio Sentire e conoscere Adelphi, 2022



“Noi sappiamo che gli organismi più numerosi viventi sulla Terra sono unicellulari, come i batteri. Sono intelligenti? Lo sono di certo, e in modo senz'altro notevole. Hanno una mente? No, non ce l'hanno, io credo, né hanno una coscienza. Sono creature autonome ed è chiaro che possiedono una forma di “cognizione” riguardante il loro ambiente; tuttavia, invece di dipendere da mente e coscienza, si affidano a competenze non esplicite – basate su processi a livello molecolare e submolecolare – che esercitano un controllo efficiente sulla loro vita secondo i precetti dell'omeostasi.

E gli esseri umani? “Noi abbiamo una mente e nient'altro che quella? La risposta semplice è no. Di certo abbiamo una mente, popolata di rappresentazioni sensoriali [...] e abbiamo anche, insieme a quelle, le competenze non esplicite che servono tanto bene gli organismi più elementari. Siamo dunque governati da due tipi di intelligenza che fanno ricorso a due tipi di cognizione. La prima – che gli esseri umani studiano e hanno a cuore da tempo – è basata su ragionamento e creatività, e dipende dalla manipolazione di schemi di informazione espliciti. L'altra è la stessa competenza non esplicita che si trova nei batteri, l'unico tipo di intelligenza da cui, sulla Terra, moltissime forme di vita sono dipese e continuano a dipendere”.

Riprendendo e rielaborando le acquisizioni della sua ricerca sperimentale, Antonio Damasio condensa qui ogni aspetto dell'“intelligenza biologica” che caratterizza gli organismi viventi, analizzando i passaggi evolutivi attraverso i quali si sono via via differenziate le varie forme di intelligenza. Nel rimarcare i “traguardi esclusivi” raggiunti dalla nostra specie, l'autore ci ricorda come i fondamentali dispositivi di cui ci siamo serviti non siano che trasformazioni e aggiornamenti di meccanismi già utilizzati da altre forme di vita, in una lunga storia di successi individuali e sociali.

Euristiche e Bias

In psicologia le *euristiche* sono strategie di pensiero grazie alle quali si giunge rapidamente alla soluzione di un problema, alla scelta di un comportamento, all'interpretazione di un evento, consentendo di ridurre lo sforzo cognitivo. Sono sostanzialmente dei processi veloci di ragionamento, che, semplificando le operazioni di analisi e di giudizio, riducono i tempi di azione, rivelandosi molte volte "adeguati". Tali processi, però, non garantiscono sempre soluzioni corrette e, in alcuni casi, portano a commettere errori sistematici di giudizio, i così detti **bias**, che solo mediante processi lenti di analisi, di investigazione e di valutazione si riescono ad evitare.

Si può immaginare il nostro cervello come fornito di due sistemi di ragionamento, un sistema veloce che fa agire d'impulso e un sistema lento, riflessivo e analitico. L'evoluzione ha preservato sia il più affidabile sistema lento sia il sistema veloce, che, anche se meno preciso, permette di agire tempestivamente di fronte ad un pericolo immediato o anche a un indizio di pericolo, come un rumore nella foresta. Il vantaggio selettivo legato al ricorso al sistema veloce deve essere stato maggiore degli svantaggi dovuti alla sua inaccuratezza, come testimonia il fatto che ne siamo provvisti¹.

Euristiche e bias, di cui si riportano alcuni esempi, sono di tipo diverso e non sempre facilmente eliminabili, ma di essi se ne può tener conto così da diminuirne gli effetti distorsivi.

L'**euristica della disponibilità** è la scorciatoia cognitiva che porta a stimare la probabilità di un evento sulla base della salienza e dell'impatto emotivo di un ricordo, piuttosto che sulla probabilità oggettiva. Chiedendo ad un gruppo di persone quale fosse la probabilità, nella nascita di 6 figli, di cui 3 maschi e 3 femmine, della sequenza: *maschio-maschio-maschio-femmina-femmina-femmina* o della sequenza: *maschio-femmina-femmina-maschio-femmina-maschio*, la maggior parte degli intervistati reputava più probabile la seconda sequenza, facendo probabilmente riferimento ad esperienze personali, anche se in realtà la probabilità delle due sequenze è la stessa.

Nell'**euristica della rappresentatività** si tendono ad attribuire caratteristiche simili a oggetti simili o appartenenti ad un stesso gruppo, spesso ignorando le differenze esistenti. Indicando ad esempio che un soggetto è preciso, accurato, creativo, ha passione per l'arte e è attento ai dettagli, rapidamente ci si farà l'idea che probabilmente si sta parlando di un orafo o di un pittore, reputando queste le qualità richieste in queste professioni e non considerando che maggiore potrà essere la probabilità che il soggetto indicato sia un insegnante, essendo maggiore il numero degli insegnanti.

L'**euristica degli affetti** ci porta a valutare più positivamente situazioni o soggetti da noi preferiti. Se amo il mare e le attività balneari sarò portato a ritenere meno pericolosa una gita in barca che un'escursione in montagna.

Un po' tutti sono soggetti al **bias di conferma**. Si selezionano e si ricercano le informazioni che confermano opinioni personali e si rifiutano gli argomenti che le contraddicono. Colui che ha paura di volare, farà riferimento a notizie di disastri o disavventure aeree, non considerando i dati sul reale numero di incidenti nelle diverse tipologie di mezzi di trasporto.

Meglio un uovo oggi che una gallina domani è la frase a cui si fa riferimento per acquistare un oggetto proposto con uno sconto senza considerare che il vantaggio potrebbe essere perso nel lungo periodo. Si tratta in questo caso del **bias del presente**, un errore valutativo che induce a operare scelte per ottenere una gratificazione immediata. A tale bias fanno riferimento alcune grandi catene commerciali nelle giornate del Black Friday al fine di incrementare le proprie vendite.

Mai lasciare la strada vecchia per la nuova può sintetizzare il **bias dello status quo**, un errore di giudizio correlato alla resistenza al cambiamento, frutto dell'ingiustificata supposizione che una nuova situazione potrà essere peggiore della situazione attuale.

Paola Bortolon

1. Polidoro M, *La scienza dell'incredibile*, Milano, Feltrinelli, 2023.

ritratto di famiglia

Membracidae

Piero Sagnibene



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 Membracidae: si tratta di insetti di piccole dimensioni, dal corpo lungo pochi millimetri, fino a 2 centimetri i più grandi, che abitano soprattutto le regioni neo-tropicale ed afro-tropicale, e sono rappresentati anche in Nordamerica, con tre sole specie in Europa, una delle quali di origine nordamericana.

Sembrano opera di qualche artista estemporaneo in preda ad effetti allucinogeni, ma sono organismi reali, realmente viventi, per quanto le loro forme possano sembrare invenzioni da fantascienza. Questi animali rappresentano un vero rebus per gli evoluzionisti poiché le loro morfologie sembrano non essere suscettibili di alcuna interpretazione "adattazionista" e non rivelano alcuna utilità funzionale. La Società Entomologica Aragonesa, che li ha studiati, è del parere che i geni coinvolti nella evoluzione di queste loro strane forme non abbiano nulla a che fare con la sopravvivenza e la riproduzione. La singolarità dei Membracidi si evidenzia nel *pronoto*, la parte dorsale del primo segmento del torace degli insetti, che assume forme di straordinaria complessità. Per capire come essi lo abbiano evoluto è stato sequenziato il loro mRNA (che porta informazioni su come vengono espressi i geni) estraendolo dai muscoli della *Entylia carinata* (FORSTER 1771) e confrontandolo con quello della *Homalodisca*

vitripennis (GERMAR 1821), una cicadella che si suppone molto vicina a quello possa essere stato l'antenato dei Membracidi, cercando eventuali somiglianze in oltre un miliardo di data points che potessero portare a specifici geni in gioco nella formazione del pronoto dei Membracidi. Mentre la sequenza dell'mRNA della *Homalodisca vitripennis* mostrava che il suo pronoto piatto era simile al suo mesonoto piatto, i geni del pronoto della *Entylia carinata* erano invece molto simili a quelli delle sue ali. I dati dell'mRNA indicano che il pronoto è stato costruito con gli stessi geni utilizzati per lo sviluppo delle ali.

La portata dell'effetto sull'espressione genica, che interviene nel paesaggio genetico che collega le ali al pronoto, ha mostrato che tra le due specie – membracide e cicalina – tutta l'espressione genica si allinea esattamente, tranne il pronoto del membracide.

Non sappiamo né se, né come, né perché queste forme tridimensionali possano essere emerse attraverso la selezione naturale. È pur vero che l'esperimento ha coinvolto una sola specie di membracide ed una sola specie di cicalina e che i due insetti sono stati campionati solo ad un certo punto del loro sviluppo da ninfe immature ad adulti completi con il pronoto sviluppato; ma se possiamo provare come sono avvenuti i primi cambiamenti, come quelli che hanno innescato tutta questa espressione genica simile ad un'ala, non sappiamo come i membracidi, antichi di 130 milioni di anni, hanno potuto ottenere tutte queste forme e soprattutto perché. Forse questi strani insetti ci dicono qualcosa sull'evoluzione



***Homalodisca vitripennis* (GERMAR 1827)**

che ancora non riusciamo a comprendere. Alcuni ipotizzano che queste forme, così bizzarre ed ingombranti, e che non mostrano alcuna utilità funzionale, sarebbero semplici strutture ornamentali, ma l'evoluzione non persegue fini estetici.

Constantine Samuel Rafinesque (1783-1840) li chiamò membracidi riferendosi al fatto che alcuni di essi sono dotati di processi cefalici che sembrano corna. Si tratta di insetti di piccole dimensioni, dal corpo lungo pochi millimetri, fino a 2 cm i più grandi. Abitano soprattutto le regioni neo-tropicale ed afro-tropicale, e sono rappresentati anche in Nordamerica, con tre sole specie in Europa, una delle quali di origine nordamericana. Lo sviluppo eccezionale del pronoto giunge a ricoprire l'intero corpo e sviluppare forme bizzarre. Hanno colorazioni poco appariscenti, ma nelle forme gregarie sono presenti pigmentazioni molto vivaci.

È certamente errato il parere di alcuni che le considerano di tipo aposematico, dato che i membracidi non dispongono di efficaci mezzi di difesa o di repulsione dei predatori; solo alcuni imitano nelle forme formiche o ditteri (mimetismo batesiano).

Hanno grandi occhi composti laterali. Antenne brevi, filiformi, che si inseriscono fra gli occhi e la regione frontale. Il pronoto della maggior parte dei membracidi ha uno sviluppo ipertelico, si espande posteriormente in un processo, di varia forma e sviluppo, che ricopre lo scutello e spesso parte delle ali e dell'addome. Le ali anteriori sono membranose, trasparenti od opache, secondo la specie. Una sutura longitudinale decorre dalla base al margine anale e suddivide l'ala in



***Entylia carinata* (FORSTER 1771)**



***Stictocephala binsonia* (KOPP & YONKE 1977)**

due regioni, una remigante (*corio*) ed una anale (*clavo*) più interna. La nervatura alare è abbastanza ricca e dal vertice del clavo parte una nervatura submarginale nella quale confluiscono le principali nervature della regione remigante (*cubito*, *media*, *radio*) ed al cui esterno si estende una stretta membrana apicale. Le zampe posteriori di tipo saltatorio presentano coxe appiattite e poste trasversalmente (carattere tipico della famiglia), femori brevi ed ingrossati, tibie allungate e carenate longitudinalmente, con una sezione quadrangolare.

Nelle femmine l'ovopositore retrattile è in grado di praticare incisioni nei tessuti vegetali per deporvi le uova o facilitare l'accesso ai vasi flo-



Imitazione batesiana di una formica da parte di un membracide

ematici delle piante. La forma tipica è quella dei due corni laterali, di una carena longitudinale mediana e di un processo dorsale, come si nota nelle due specie europee, i cui nomi richiamano proprio la presenza dei corni (*Stictocephala bisonia*, la "cicalina bufalo" e *Centrotus cornutus*, il "diavolino").

Nella *Stictocephala*, la forma più semplice, nel pronoto, in ordine antero-posteriore, si distinguono: a) una regione anteriore, detta *metopidium* declivante in avanti e sovrastante il capo; b) due processi antero-laterali, di vario sviluppo, detti *corni sopraomerale* o semplicemente *corni*; c) una carena dorsale mediana longitudinale nella quale confluiscono due rilievi carenati provenienti dai corni; d) un processo posteriore che si prolunga sopra lo scutello e oltrepassa l'addome ed è relativamente stretto e lascia scoperte le ali. La cresta dorsale si sviluppa spesso in una stretta lamina verticale che può assumere vari profili; in *Membracis* è semicircolare o semiellittica, espansa in avanti e posteriormente; in *Umbonia* è acuminata e ricurva all'indietro in *Enchenopa* e *Platycotis* si prolunga visibilmente in avanti. Nei membracidi possiamo distinguere due diversi comportamenti etologici. Le specie solitarie, che prevalgono nelle regioni temperate, sono univoltine (una generazione all'anno); svernano allo stadio di uovo. La tendenza al monovoltismo sarebbe correlata ad ecosistemi di alta quota o a quelli con stagione secca. Le specie gregarie, che prevalgono nelle regioni tropicali, sono bivoltine o multivoltine e svernano allo stadio di adulto. Il ciclo delle specie tropicali, presenti nelle foreste a bassa quota, è correlato a quello delle piante ospiti, con un numero indeterminato di generazioni l'anno. Vi sono due specie di gregarismo: quello semplice che è diretto ad utilizzare la simbiosi mutualistica con le formiche, e quello sub-sociale.

Lo sviluppo post-embrionale, con cinque mute, si svolge con due stadi di neanide e tre di ninfa. Questi insetti vivono soltanto pochi mesi. Alcune specie, se disturbate, spiccano ampi balzi grazie alle zampe posteriori. Gli adulti dei membracidi sono insetti poco mobili. Sono in generale asso-



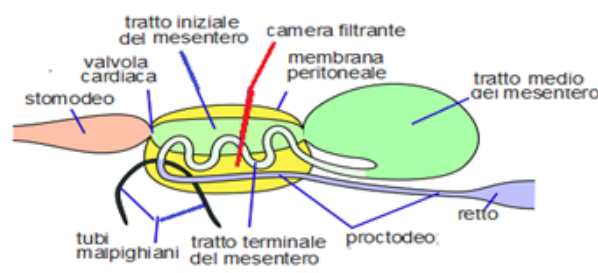
ciati a piante arboree. Le femmine depongono in genere le uova in serie, all'interno di incisioni praticate con l'ovopositore in germogli, rametti e piccioli fogliari, altre specie depongono le uova sulla superficie dei vegetali, talvolta in masse ricoperte da secrezioni cerose delle ghiandole colaterali della femmina, utilizzate come collante e come aggregante per fissare le uova.

Nelle specie solitarie, le neanidi, appena nate, scendono sul terreno e si insediano su piante erbacee, delle quali si nutrono e sulle quali si svolge lo sviluppo post-embriale. Nelle specie gregarie, invece, si sviluppano comunità in cui convivono neanidi, ninfe e adulti su piante legnose. Negli stadi giovanili si nutrono di parenchima o di floema, mentre gli adulti si nutrono di floema.

I membracidi assorbono dalle piante grandi quantità di acqua e zuccheri e hanno il problema di concentrare le scarse proteine presenti nel parenchima e nella linfa vegetali; sono perciò dotati, come altri omotteri, di una sofisticata *camera filtrante* e producono abbondanti emissioni di melata (detta rugiada di miele) che attira le formiche, ma solo se i membracidi vivono in comunità. Le formiche, a loro volta, li proteggono dai predatori proprio per sfruttare le loro emissioni zuccherine.

Il comportamento subsociale dei Membracidi mostra una vera tendenza evolutiva verso la eusocialità. Le femmine forniscono cure parentali alle uova e alle giovani neanidi, proteggendo le ovature e agevolando la nutrizione nelle prime fasi. Dopo la deposizione la femmina resta in sito coprendo le ovature con il suo corpo per im-

La camera filtrante è un vero organo dializzatore che effettua il by-pass dei glucidi. È un sistema di membrane, associate al tratto iniziale del mesenteron, che filtra i liquidi assunti e permette la separazione delle macromolecole (lipidi, proteine) dalle piccole molecole (zuccheri, amminoacidi). Le macromolecole proseguono nell'intestino medio (mesentero), dove subiscono la digestione, ma gran parte dell'acqua, degli zuccheri e di altre piccole molecole organiche vengono invece deviate direttamente nell'intestino posteriore (proctodeo). Il risultato è la emissione di grandi quantità di liquidi ad alto contenuto zuccherino (melata).



pedire gli attacchi dei predatori e dei parassitoidi oofagi; le modalità di questa protezione variano secondo la specie. Non è stato ancora accertato se vi sia cooperazione tra femmine nella cura alle uova, ma si suppone che possano esistere comportamenti simili alle forme di mutualismo come in altri insetti. Poiché le giovani neanidi non sono in grado di praticare punture per raggiungere i vasi floematici delle piante, le femmine, dopo aver deposto le uova, praticano le incisioni qualche giorno prima della schiusa in modo che le neanidi possano nutrirsi fino a quando non divengono autonome.



***Platycotis vittata* (FABRICIUS 1803)**

La relazione mutualistica con le formiche spinge le femmine a preferire di ovideporre vicino alle loro colonie. Le formiche si prendono cura dei membracidi in qualsiasi fase della loro vita giovanile (uova, neanidi, ninfe). I ridotti tassi di predazione delle ninfe sono il risultato della protezione delle formiche e non delle cure dei genitori.

I Membracidi comunicano fra loro attraverso sottili vibrazioni che vengono trasmesse attraverso le piante, come accade in altri Auchenorrhynchi; questa forma di dialogo, tramite le piante ed i tronchi degli alberi, può allarmare, oppure attrarre o anche indicare una buona fonte di cibo. Il caso più emblematico delle particolarità dei Membracidi è quello della “cicalina brasiliana” (*Bocydium globulare*), certamente il più strano tra i 3.200 membracidi descritti. Il *Bocydium*, nella sua fase adulta raggiunge appena i 7,5 millimetri di lunghezza. È dotato di 6 lunghe zampe e

2 grandi ali che possono ripiegarsi verticalmente quando è a riposo. Il *Bocydium* è animale solitario, ma molto attivo con i conspecifici con cui comunica, tramite le vibrazioni trasmesse dalle piante.

Al centro del pronoto si eleva una struttura tri-dimensionale, un breve processo verticale che termina con una scultura singolare: davanti una serie di 4 sfere, disposte sullo stesso piano ai vertici di un trapezio, posteriormente un processo spiniforme, leggermente ricurvo verso il basso, che arriva fino all'altezza del vertice del clavo; l'intera scultura è irta di setole. È originario del continente sudamericano. Vive nelle foreste pluviali amazzoniche, umide e con molta vegetazione, di Brasile, Perù, Suriname e Guyana francese, specialmente quelle in cui si trova la specie *Tibouchina urvilleana* (AUBLET 1775), arbusto o piccolo albero chiamato “cespuglio della gloria”. Si nutre della linfa delle foglie di diverse piante, con una speciale predilezione per la *Tibouchina*.

Secondo alcuni l'aspetto del pronoto potrebbe aiutare a scoraggiare i predatori perché la sua forma può intimidire gli uccelli o gli anfibi che vogliono mangiarlo; secondo altri il suo aspetto fungerebbe da strumento di mimetismo, facendolo somigliare ad alcune specie vegetali. Si tratta di supposizioni non sostenute da prove; in realtà, sebbene biologi ed entomologi abbiano cercato per decenni il significato della sua morfologia, non sappiamo affatto se e quale ruolo svolga nella biologia di questo insetto. ●



***Bocydium globulare* (FABRICIUS 1803)**

Federico Cramer, Claudio Villiot

VITA

Dialogo filosofico-scientifico intorno al più straordinario fenomeno dell'universo

ETS 2024

Finestre. I libri di Naturalmente Scienza



Se il Novecento è stato il secolo della fisica, il XXI secolo sembra avviato ad essere quello della biologia. Le nuove scoperte e le acquisizioni tecnologiche in questo campo hanno un ritmo incalzante e promettono di incidere sempre più profondamente sulla vita dell'uomo. La sinergia tra biologia e informatica, tra ingegneria genetica e intelligenza artificiale, proietta il nostro futuro verso una terra incognita di cui non possediamo ancora le chiavi di interpretazione e di controllo. Ci è parso importante, avviandoci verso questo futuro ormai assai prossimo, proporre una riflessione sul concetto di vita, per offrire un contributo critico al dibattito sulla crisi dello statuto stesso della vita, in rapida ridefinizione sotto l'incalzare dell'editing genetico e del postumano, e per affrontare con più consapevolezza i profondi e incalzanti cambiamenti che ci attendono, sia in termini personali che sociali. Prendendo spunto dal libro di Erwin Schrödinger del 1944 *Che cos'è la vita?* e da quello recente di Paul Nurse con lo stesso titolo, abbiamo cercato di rispondere alla stessa domanda attraverso il dialogo interdisciplinare tra biologia e filosofia, con l'obiettivo di arricchire la trattazione dei temi affrontati mettendo a confronto concetti, conoscenze e argomentazioni provenienti da ambiti disciplinari e culturali diversi. Nella stesura del testo abbiamo ritenuto utile tentare da un lato una sintesi delle nuove acquisizioni della

ricerca scientifica in campo biologico, dall'altro aprire un ventaglio più ampio di collegamenti con altri ambiti di conoscenza, che proprio a partire da queste nuove acquisizioni diventa possibile. Una riflessione su come l'immagine della vita elaborata dalla nostra cultura rappresenti un fattore determinante del modo in cui entriamo in relazione con la realtà naturale, su quanto possa contribuire allo sviluppo di un'etica ecologica e, in ultima istanza, su come da tutto questo dipenderanno le scelte e le decisioni che l'umanità sarà chiamata a prendere per gestire il proprio futuro. L'originalità del testo risiede appunto in questo approccio multidisciplinare, nel dialogo a distanza sugli stessi temi analizzati da due punti di vista diversi ma complementari. Ogni capitolo, diviso in due parti, presenta le idee e le considerazioni di ciascun autore su un tema caratterizzante la dimensione del vivente; spesso i ragionamenti e le argomentazioni convergono, altre volte, muovendo da presupposti diversi, seguono percorsi separati, ma sempre perseguono l'obiettivo di completarsi a vicenda. Con questo intento ci siamo concentrati, alla luce della biologia contemporanea, su un numero limitato di elementi costitutivi di ciò che chiamiamo "vita". I temi ad essa indissolubilmente legati sono stati trattati in cinque capitoli: le origini, l'informazione, la relazione, la pluralità e l'evoluzione, a cui se ne aggiunge uno finale nel quale i due autori sviluppano considerazioni e analisi più personali. Un testo composito in cui il dialogo tra prospettive scientifiche e filosofiche è finalizzato a proporre, attraverso le loro relazioni, integrazioni e punti di convergenza, una sintesi che fornisca una visione unitaria, ma certamente non esaustiva, del più complesso fenomeno dell'universo, fornendo spunti per orientarsi intorno alle eterne domande: chi siamo? da dove veniamo? Il saggio si rivolge a quanti sono interessati ai problemi del mondo contemporaneo, in particolare a quelli ecologici, e alla riflessione sull'esistenza umana nel contesto più ampio della vita sulla Terra. Il testo, per l'ampio ventaglio dei temi affrontati, potrebbe costituire un'utile lettura introduttiva a queste tematiche per studenti degli ultimi anni dei licei, o dei primi anni universitari, e uno spunto interessante e interdisciplinare per tutti coloro che per motivi professionali o per interesse culturale, come gli insegnanti e le persone coinvolte dalle tematiche ecologiche, si occupano di questi argomenti.

Federico Cramer, Claudio Villiot

Minacce in alto mare. La radioattività

This type of contamination deserves a separate discussion because it is a complex phenomenon that has origins that go beyond the most obvious, nuclear power plants and war activities.

Key words: *Radioactivity, Sea pollution.*

Eleonora Polo

Un temuto nemico invisibile

La radioattività è un nemico subdolo che spaventa più di altri perché non ha colore, odore o sapore, ma può essere letale. Chi ha visto la miniserie televisiva *Chernobyl*¹, sicuramente ricorda la scena in cui i primi operai inviati a controllare i danni sul reattore cominciano a sentire in bocca un sapore metallico. Questa percezione non dipende dal fatto che le radiazioni abbiano realmente un sapore, ma è dovuta ai danni provocati dalle radiazioni elevate ai nostri apparati sensoriali. Per rilevare la radioattività sono necessari dispositivi e apparecchiature specifici.

Che cosa causa la radioattività di un elemento e come la si misura?

La radioattività² è dovuta all'instabilità dei radionuclidi naturali e artificiali che, per ridurre l'energia in eccesso, liberano vari tipi di particelle e radiazioni trasformandosi gradualmente in altri elementi chimici più stabili.

Per valutarla quantitativamente si impiegano varie unità di misura. Le tre più utilizzate indicano:

- l'*attività*, cioè il numero di decadimenti radioattivi che si verificano in un secondo per un determinato nucleo e si misura in *Becquerel* (1Bq= 1 decadimento al secondo);
- la *dose*, che valuta la quantità di energia assorbita dall'unità di massa di un materiale – inerte o biologico – e si esprime in *Gray* (1Gy= assorbimento di 1 Joule di energia per 1kg di materia);
- la *dose equivalente*, espressa in *Sievert* (Sv), che misura il danno biologico provocato dall'assorbimento di radiazioni da parte di un intero orga-



1. Creata e scritta da Craig Mazin e diretta da Johan Renck per HBO e Sky Atlantic (2019).

2. Per una trattazione più dettagliata, ma comprensibile, si può consultare il sito: <https://www.lngs.infn.it/it/radioattivita>

nismo vivente, o anche di un singolo organo o tessuto. Questo dato tiene conto della differente capacità di penetrazione (vedi fig. 1) dei vari tipi di radiazione e della pericolosità correlata alla radiosensibilità dei tessuti e degli organi colpiti.

Qual è la fonte della radioattività negli oceani?

Contrariamente al sentire comune, la contaminazione radioattiva delle acque costiere e degli oceani è dovuta a processi che possono essere anche di origine naturale, anche se dal 1945 ha iniziato a diffondersi nell'ambiente via acqua e via aria la *radioattività artificiale* (o antropica) dovuta all'uso pacifico e militare dell'energia nucleare. Nelle figure 2 e 3 possiamo vedere le schermate del monitoraggio in tempo reale³ della radioattività naturale e artificiale per l'Europa e l'area più prossima al nostro Paese. Nella mappa sono riportate soprattutto le fonti terrestri, ma la prossimità alle coste e ai corsi d'acqua, insieme alla circolazione dell'aria, provvedono poi a distribuirle nei mari.

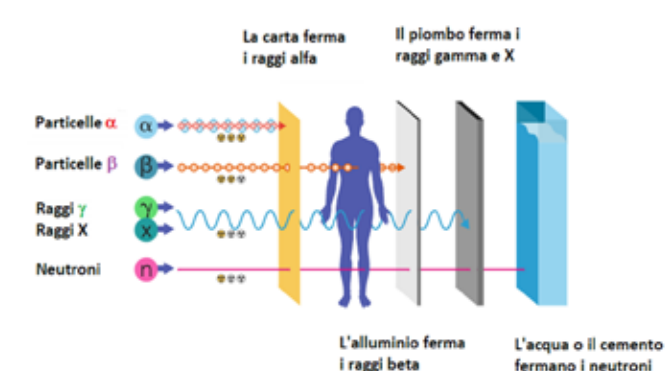


Fig. 1. Quanto sono penetranti i vari tipi di radiazione?

Radioattività naturale

Ha origini cosmiche e terrestri ed è in media la fonte di esposizione radiologica più importante per l'uomo.

Al primo tipo appartengono i radionuclidi prodotti dalle reazioni nucleari che si verificano per interazione tra i raggi cosmici (provenienti dal Sole e dalla galassia) e gli elementi chimici presenti nell'atmosfera e che raggiungono la superficie del mare per deposizione. I più abbondanti sono potassio-40 (^{40}K), carbonio-14 (^{14}C), trizio (^3H), berillio-10 (^{10}Be), berillio-7 (^7Be) e alluminio-26 (^{26}Al); tutti sono distribuiti in modo abbastanza uniforme in tutto il pianeta.



Figg. 2 e 3. Schermate del monitoraggio in tempo reale della radioattività naturale e artificiale per l'Europa e l'area più prossima al nostro Paese.

3. Dati del 24/06/2024
<https://remap.jrc.ec.europa.eu/Advanced.aspx>

I *radionuclidi primordiali* – uranio-238 (^{238}U), uranio-235 (^{235}U) e torio-232 (^{232}Th) – sono invece di origine terrestre e risalgono alla formazione del sistema solare. La loro distribuzione e concentrazione sono quindi irregolari nei vari giacimenti nel pianeta. Per decadimento radioattivo danno origine a *famiglie* di radionuclidi che possono essere movimentati dalle acque di dilavamento delle rocce e, attraverso i fiumi, raggiungere il mare. La radioattività quindi si trova naturalmente nell'acqua di mare e nei sedimenti oceanici, però in mari e oceani – tranne casi particolari – è geograficamente abbastanza uniforme ed è dominata dal potassio-40 (^{40}K), mentre i livelli di radiazione dei sedimenti, essendo meno mobili, variano in funzione della loro composizione geologica, collocazione geografica e vicinanza a giacimenti naturali di torio e uranio.

Radioattività naturale *human enhanced*

Con questo termine si indica la radioattività proveniente da attività industriali non nucleari che producono residui in cui si concentrano quantità tali di radionuclidi naturali, come radon-226 (^{226}Ra), piombo-210 (^{210}Pb) e polonio-210 (^{210}Po), da costituire un rischio radiologico. Le fonti maggiori di questi residui pericolosi sono le miniere, le centrali a carbone, gli impianti di lavorazione dei fosfati e quelli per estrarre gas e petrolio offshore.

Quando si estraggono combustibili dai fondali marini (soprattutto in Arabia Saudita, Brasile, Messico, Norvegia e Stati Uniti) è necessario pompare ingenti quantità di acqua di mare nei serbatoi di raccolta per mantenere la pressione costante. I volumi di acqua che entrano ed escono sono ingenti e finiscono per concentrare i radionuclidi eventualmente presenti a causa di giacimenti sottomarini. Non esistono ancora tecnologie in grado di rimuoverli dalle acque prima che siano reimmesse in mare.

La combustione del carbone nelle centrali termiche produce invece ceneri volatili⁴ che si arricchiscono di tutti i radionuclidi naturali eventualmente presenti nel minerale. Lo stesso discorso si applica alle attività industriali energivore (2,4 GWh di energia o superiore), in particolare quelle metallurgiche, che impiegano ancora il carbone come fonte primaria di energia.

L'attività mineraria può contribuire al problema della dispersione di materiale radioattivo anche quando il giacimento, accanto al minerale o alle famiglie di minerali⁵ che interessano dal punto di vista estrattivo, contiene torio, uranio e loro derivati. Questo si verifica quasi sempre nel caso dei giacimenti delle terre rare che, oltretutto, sono spesso a cielo aperto. L'estrazione e l'isolamento degli elementi più interessanti dal punto di vista tecnologico e commerciale comportano operazioni complesse di separazione che utilizzano reagenti corrosivi o tossici che possono finire nell'ambiente e/o nelle falde acquifere portandosi dietro altri sottoprodotti *sgraditi*.

Un'altra fonte di materiale radioattivo è la lavorazione industriale dei fosfati, elementi di base per l'industria dei fertilizzanti e di altre produzioni chimiche e alimentari. I rifiuti di lavorazione, costituiti principalmente da fosfogessi, contengono naturalmente radionuclidi provenienti dal decadimento di ^{238}U e ^{232}Th . Un esempio italiano di questo tipo di contaminazione ha riguardato il polo industriale di Porto Marghera che a partire dagli anni '60 è stato sede per vari decenni di un'industria che produceva acido fosforico. I rifiuti, contenenti soprattutto il radionuclide ^{226}Ra , sono stati smaltiti in una discarica della Laguna Veneta, contaminandola in modo importante sino alla fine degli anni '70, finché non si sono conosciuti i rischi associati alla presenza di radioattività naturale in questi detriti. Gli studi condotti nel 1998 da ANPA e ARPA

4. Ogni anno in tutto il mondo le centrali termiche a carbone liberano nell'aria più di 454 milioni di tonnellate di ceneri volatili a cui va sommata la

produzione di tutte le altre industrie che utilizzano il carbone come combustibile.

5. Alcuni gruppi di metalli, a causa della loro natura chimica, sono quasi sempre presenti insieme nei giacimenti, come le terre rare e i metalli del

gruppo del platino, metalli indispensabili per l'informatica, la telefonia, la mobilità elettrica e le tecnologie aerospaziali

del Veneto⁶ hanno determinato lo stato di contaminazione delle acque e dei prodotti ittici della Laguna. I risultati indicano che la concentrazione di ^{210}Pb e ^{210}Po nei sedimenti diminuisce man mano che ci si allontana dalla zona di scarico dei fosfogessi, mentre la concentrazione nei molluschi aumenta gradualmente quando ci si allontana dalla fonte di contaminazione, probabilmente a causa delle correnti in laguna e della solubilità dei radionuclidi.

In generale, la concentrazione di ^{210}Po , ^{210}Pb e ^{226}Rn in pesci, molluschi e crostacei è costante quasi ovunque nel mondo (Tabella 1) e deve tenere alta l'attenzione, perché si possono verificare danni dovuti all'accumulo di questi radionuclidi nei forti consumatori di prodotti ittici.

Radionuclidi artificiali

La radioattività artificiale si è diffusa nell'ambiente in seguito all'impiego massiccio dell'energia nucleare. La vastità e l'entità delle contaminazioni ambientali dipendono sia dal tipo che dal numero di eventi che le hanno determinate, perché la dispersione di radionuclidi artificiali può essere causata sia da fenomeni che fanno parte della normale attività nucleare (scarico e perdite

nelle acque durante il trattamento di scorie nucleari, perdite dagli impianti di raffreddamento dei reattori nucleari) sia da eventi isolati (incidenti alle centrali nucleari, fall-out dei test sulle armi atomiche, incidenti a navi o sottomarini, smaltimento in mare di rifiuti a bassa radioattività).

Radioattività da attività militari

Dal 1945 al 1963 sono stati eseguiti più di 2056 test nucleari (fig.4), di cui 507 nell'atmosfera che hanno distribuito materiale radioattivo ovunque nel pianeta. Circa la metà (1030) è attribuita agli Stati Uniti, seguiti da Russia (715), Francia (210), Regno Unito (45) e Cina (45). L'esplosione nucleare più potente (1961) è stata quella della bomba russa Tsar a Novaya Zemlya ed è stata 3300 volte più potente di quella di Hiroshima.

I danni compiuti da queste esplosioni si protraggono nel tempo, perché nella fase iniziale gli elementi radioattivi si distribuiscono negli strati superficiali degli oceani, poi nel tempo si mescolano alle acque profonde e sono trasportati verso il fondo. L'analisi della distribuzione verticale di ^{90}Sr e ^{137}Cs nel Pacifico settentrionale indica che questi elementi hanno raggiunto profondità di circa 500m nell'arco di trent'anni, mentre gli isotopi di plutonio sono andati ancora più a fondo.

Tabella 1. - Coefficienti di dose per ingestione dei radionuclidi artificiali (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{103}Ru e ^{106}Ru) e naturali (^{210}Po , ^{210}Pb e ^{226}Ra) più diffusi nell'ambiente. Nelle ultime tre colonne sono riportati i relativi fattori medi di concentrazione per i prodotti ittici [2, 3]

Radionuclide	Coefficienti di dose Sv/Bq		Fattore di concentrazione (CF)		
	Bambini (10 anni)	Adulti	Pesce	Crostacei	Molluschi
^{137}Cs	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	100	30	30
^{134}Cs	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$			
^{103}Ru	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$7,3 \cdot 10^{-10}$	2	100	2 000
^{106}Ru	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$			
^{210}Po	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	2 000	50 000	10 000
^{210}Pb	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	200	1 000	1 000
^{226}Ra	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	500	100	1 000

CF: Fattore di concentrazione = Bq kg^{-1} peso fresco / Bq l^{-1} acqua di mare.

6. *Le discariche di fosfogessi nella laguna di Venezia: valutazioni preliminari dell'impatto radiologico*, ANPA, Roma 2000.

Gli esperimenti nucleari come quelli nell'atollo di Bikini iniziati nel 1946, nonostante i numerosi interventi di bonifica, hanno reso inabitabili queste isole a causa degli alti livelli di radioattività ancora presenti in piante e animali.

Nel 1963 è stato firmato un primo bando parziale dei test atomici che non tutti i Paesi hanno sottoscritto, ma possiamo già vederne gli effetti in Fig.4. Il salto di qualità c'è stato con il Trattato di

Bando Totale delle Esplosioni Nucleari (1996) con cui si sperava di porre una pietra tombale su questo tipo di attività, ma l'attualità ci ricorda periodicamente che si è trattato di un sogno non ancora del tutto realizzato.

Su piccola scala a livello globale, ma non di poco conto a livello locale, ci sono anche gli incidenti occorsi a reattori di navi e sottomarini a propulsione nucleare, spesso affondati insieme al loro carico di bombe. Se la profondità non era eccessiva si è cercato di recuperare almeno gli ordigni, più per ragioni strategiche che ecologiche, ma non è sempre stato possibile (sei casi su otto noti). I contenitori sono quindi a rischio di corrosione e rilascio del loro terribile carico.

Ci sono stati anche parecchi affondamenti di satelliti a propulsione nucleare usati per la sorveglianza oceanica (per lo più Cosmos di fabbricazione sovietica) che seguivano orbite terrestri basse e, a volte, sono rientrati in atmosfera bruciando e vaporizzando il combustibile nucleare prima di inabissarsi.

Dumping di armamenti e scorie

Prima del 1972, in tutto il mondo, rifiuti, fanghi di depurazione e scorie di tipo chimico, industriale e radioattivo erano impunemente gettati

Nuclear weapons tests per year, 1945 to 2022

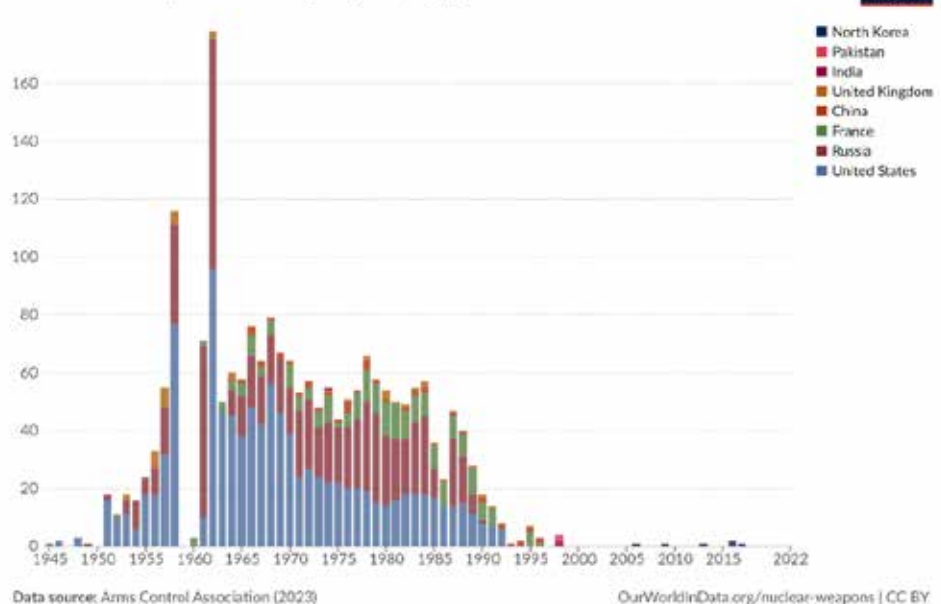


Fig. 4. Impatto delle armi nucleari dal 1945 al 2022

in mare. Milioni di tonnellate di metalli pesanti e contaminanti chimici, oltre a migliaia di container di rifiuti radioattivi, sono stati affondati deliberatamente. Dal 1946 al 1992, ben 13 Stati hanno praticato l'attività di *sea dumping*, ovvero lo smaltimento di rifiuti atomici in mare. Gli Stati Uniti sono stati i più attivi avendo scaricato quasi 90.000 contenitori di materiale radioattivo nell'Atlantico e nel Pacifico, ben presto imitati da altri Paesi, come Francia, Belgio, Paesi Bassi e Unione Sovietica. Anche l'Italia ha utilizzato il mare come discarica gratuita, seppure in misura minore. Secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IEA), la radioattività da materiale inabissato in tutto il mondo si attesta a circa 85.000.000 giga-becquerel.

Esistono vere e proprie discariche certificate nell'Atlantico, nel Pacifico e nell'Artico. Vicino a Europa, Usa, Cina, Russia e Giappone ce ne sono più di 50, in cui dovrebbero essere stati scaricati almeno 400.000 contenitori di rifiuti radioattivi solidi. Una si trova in una fossa atlantica, a circa 600 miglia dalla Galizia, nel nord-ovest della Spagna, dove nell'arco di trent'anni sono finite circa 142.000 tonnellate di rifiuti radioattivi a bassa intensità (1 milione di curie).

Questi episodi di smaltimento hanno reso gli oceani la più grande discarica di scorie radioattive della Terra, con effetti duraturi sulla salute ambientale e umana. Il Protocollo di Londra, entrato in vigore nel 2006, ha proibito in modo specifico lo smaltimento in mare di qualsiasi rifiuto e materiale. Ma sappiamo c'è molto sommerso, in tutti i sensi.

Incidenti a centrali nucleari

Tipici di questi eventi sono il rilascio acuto e la contaminazione diretta dell'ambiente marino o terrestre, che a sua volta diventa una fonte secondaria di inquinamento del mare attraverso i fiumi, il dilavamento del terreno e lo scarico dalle falde freatiche.

Il primo e più grave incidente nucleare nella storia dell'Europa occidentale si è verificato nel 1957 nell'impianto di Windscale nel Regno Unito. Il sito ospitava due reattori nucleari a gas senza contenimento per la produzione di plutonio per scopi militari. Il 7 ottobre in uno si sviluppò un incendio con emissione diretta di radionuclidi nell'aria e dell'acqua usata per raffreddare i reattori (occorsero quattro giorni) che evaporò e fu rilasciata direttamente in atmosfera, creando un'imponente nube radioattiva pari a 1/10 di quella della bomba atomica di Hiroshima. La nube attraversò l'Europa del Nord e la radioattività su Londra (distante 500 km) superò di 20 volte il valore naturale. L'incidente è stato minimizzato dalle autorità come altri simili, o anche, più gravi avvenuti in strutture militari.

Segue l'incidente alla centrale di Chernobyl (1986), in cui la radioattività è stata trasportata via aria e via fiume (fig.5), mentre lo sversamento più ingente di acqua radioattiva si è verificato l'11 marzo 2011 quando uno tsunami ha colpito le sei centrali nucleari di Fukushima in Giappone, provocando in tre la fusione del nocciolo. Per raffreddare i reattori è stata usata direttamente l'acqua del mare e, a causa della loro particolare ubicazione, non è stato possibile sigillarli, come invece è stato fatto a Chernobyl. Inoltre si sono avute anche perdite dalle piscine di deposito del materiale fissile spento. Il problema, oggetto di controversie anche per le possibili ricadute su commercio e turismo, è stato – ed è – quello di

smaltire l'acqua contenuta nelle mille cisterne installate dalla Tokyo Electric Power (Tepco) per contenere i 200 m³ d'acqua che ogni giorno servono a raffreddare le barre di combustibile radioattivo. Le cisterne sono piene e da marzo di quest'anno hanno cominciato a scaricarle in mare contando sul fatto che dopo il trattamento è rimasto soprattutto trizio radioattivo che si dovrebbe diluire nell'oceano a livelli non pericolosi, forse. Quando si era verificato negli Stati Uniti l'incidente di Three Mile Island (1979), si scelse di far evaporare lentamente l'acqua contaminata, per poi conferire i residui in un deposito. In ogni caso, quando succedono incidenti di questo tipo, il flusso di radionuclidi nell'ambiente è molto elevato negli anni immediatamente successivi, poi si riduce nel tempo attraverso il dilavamento e il decadimento fisico degli elementi radioattivi.

Scarico di scorie nucleari di bassa attività

Anche il normale funzionamento delle centrali nucleari ha una sua ricaduta in termini di inquinamento dei mari. Attualmente, le principali fonti di radionuclidi di origine antropica negli oceani provengono da fuoriuscite provenienti da impianti di riprocessamento delle scorie radioattive come Sellafield (è il nuovo nome attribuito all'impianto di Windscale), La Hague e Marcoule (Francia), Trombay (India) e Tokai-Mura (Giappone). Gli scarichi di La Hague e Sellafield hanno contaminato il mare d'Irlanda e il canale della Manica al punto tale che è possibile trovare

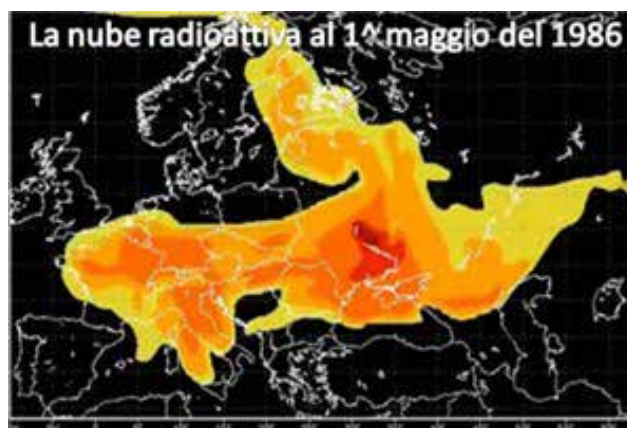


Fig. 5. La nube radioattiva del 1986.

tracce radioattive nelle alghe lungo le coste della Norvegia e della Groenlandia occidentale. In particolare, si stima che in un'area di 20 km intorno all'impianto di Sellafield vi sia una quantità di plutonio due-tre volte superiore a quella di tutti i test nucleari nell'atmosfera messi insieme. Anche la concentrazione di tecnezio nei crostacei è risulta circa 13 volte superiore al livello di intervento alimentare fissato dal Consiglio Europeo.

L'impatto della radioattività sugli organismi marini

Le conseguenze sugli ecosistemi marini possono essere di tossicità acuta, nel caso di eventi accidentali di particolare intensità o di attività belliche di tipo atomico, e/o a lungo termine con danni alla salute degli organismi e perturbazione della catena alimentare attraverso fenomeni di bioaccumulo e bioamplificazione.

L'esposizione a radiazioni ionizzanti può causare mutazioni nel DNA degli organismi marini influenzandone la crescita, la riproduzione e la sopravvivenza; inoltre l'assorbimento di radionuclidi può portare a malformazioni fisiche e tumori per le specie che vivono più a lungo e indurre anomalie nel comportamento che ne limitano la capacità di trovare cibo o riprodursi.

I radionuclidi, ovviamente, non sono tutti pericolosi allo stesso modo anche a parità di concentrazione, perché ognuno è caratterizzato da un *tempo di dimezzamento*⁷ differente che può andare da frazioni di secondo per i più instabili fino a miliardi di anni per quelli solo leggermente instabili. Un altro fattore importante è la tendenza ad accumularsi in un organo specifico amplificandone i danni. Un esempio tipico, di cui si parla sempre nei film e serie TV in cui sono descritti incidenti nucleari, è lo iodio-131 (¹³¹I), usato anche in radioterapia e nel trattamento di alcune patologie tiroidee, perché ha una predilezione esclusiva per

questa ghiandola e un'emivita di 8 giorni. Il trattamento tipico per esposizioni accidentali a forti dosi di ¹³¹I consiste nella somministrazione di pastiglie a base di ioduro di potassio che contiene iodio-127 (non radioattivo), che la tiroide umana preferisce allo ¹³¹I.

Monitoraggio della radioattività negli oceani

È indispensabile per valutarne gli effetti a lungo termine e garantire la sicurezza ambientale sia in condizioni *normali* che nel corso di emergenze.

I metodi più utilizzati sono:

- a) *i rilevamenti da satellite* per monitorare aree vaste e remote misurando le radiazioni emesse dalla superficie dell'oceano;
- b) *i campionamenti in situ* utilizzando navi da ricerca con prelievi di campioni d'acqua a diverse profondità e posizioni;
- c) *le reti di monitoraggio costiere* per raccogliere in modo regolare i dati sulla radioattività e identificare eventuali anomalie o picchi;
- d) *i sensori galleggianti* dotati di rilevatori che misurano la radioattività in tempo reale;
- e) *i modelli oceanografici e simulazioni* per prevedere la dispersione degli isotopi radioattivi nell'oceano e identificare le zone a rischio.

Un supplemento di pena: il cambiamento climatico

Un aspetto di cui si parla poco è come il cambiamento climatico esaspererà tutte queste problematiche⁸. L'aumento delle temperature globali influisce negativamente sull'efficienza dei sistemi di raffreddamento di molti processi industriali, compresa la produzione di energia nucleare. Sappiamo già cosa può succedere a una centrale se, per un qualche motivo, si interrompe o viene danneggiato il sistema di raffreddamento del nocciolo del reattore. A questo effetto va sommato l'intensificarsi di eventi climatici estremi che

7. O tempo di emivita, è il periodo di tempo necessario affinché decada la metà degli atomi di un campione radioattivo puro

8. Gwynn JP, Hatje V, Casacuberta N *et al.*, *The effect of climate change on sources of radionuclides to the marine environment*, Commun Earth

Environ 5, 135 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01241-w>

possono danneggiare strutture strategiche degli impianti. L'aumento della temperatura delle acque del pianeta associato ai fenomeni di acidificazione mette anche a repentaglio la tenuta dei fusti e dei sistemi di contenimento dei rifiuti radioattivi scaricati negli oceani, perché accelera i fenomeni di corrosione già in atto.

Tra il 1901 e il 2018, il livello medio globale del mare è cresciuto di 1–2 mm all'anno, per un totale di 15–25 cm, ma dal 2010 sta salendo alla velocità di 3,7 mm all'anno⁹. Tra il 1993 e il 2018, i fattori che hanno maggiormente contribuito a questo fenomeno sono l'espansione termica dell'acqua (42%), la fusione dei ghiacciai temperati (21%) e dei ghiacci di Groenlandia (15%) e Antartide (8%). Questo innalzamento del livello del mare è tuttavia in ritardo rispetto alle variazioni della temperatura terrestre, quindi continuerà ad accelerare fino al 2050 esclusivamente in risposta al riscaldamento già in corso, esponendo decine di milioni di persone al rischio di inondazioni. Tutto questo mette a repentaglio l'integrità di depositi di scorie nucleari come il Runit Dome (fig.6)



Fig. 6. la cupola in calcestruzzo, costruita sopra il cratere del test nucleare Cactus.

9. IPCC Sixth Assessment Report, Climate Change 2021, https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf

nell'atollo Enewetak. La foto (1980) della cupola in calcestruzzo, costruita sopra il cratere del test nucleare *Cactus* (1958) e diventato il deposito delle scorie dei 65 test atomici eseguiti nelle Isole Marshall dagli Stati Uniti, parla da sola.

Conclusione. Quali soluzioni adottare?

Si tratta di una sfida complessa che richiede un approccio multidisciplinare, ma non siamo completamente disarmati purché tutti gli attori coinvolti abbiano la volontà di impegnarsi.

A monte di tutto è essenziale una collaborazione internazionale e la condivisione di conoscenze e risorse attraverso la cooperazione tra paesi, organizzazioni e scienziati. Sappiamo quanto questo sia difficile soprattutto nell'attuale situazione internazionale. Sono già attivi – ma non sempre rispettati – vari accordi per limitare lo smaltimento di rifiuti radioattivi in mare, compreso il divieto del *sea dumping*.

Per identificare le fonti dell'attività radioattiva negli oceani e adottare misure preventive, la situazione va controllata costantemente. Un contributo importante viene dalle attività di ricerca e sviluppo sia dal punto di vista delle tecniche di monitoraggio e identificazione dei radionuclidi che attraverso lo studio di nuove tecnologie per rimuovere o neutralizzare i rifiuti radioattivi.

Infine, è necessaria un'opera di informazione e sensibilizzazione del pubblico, ma in modo scientifico e non *di pancia*, e soprattutto non solo sull'onda di emozioni e paure irrazionali scatenate da incidenti di vario tipo. ●

Bibliografia

1. E. Polo, *L'isola che non c'è. La plastica negli oceani fra mito e realtà*, Edizioni Dedalo, Bari 2020
2. IAEA, *Inventory of radioactive waste disposals at sea*, TECDOC-1105, 1999, Vienna, Austria, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1105_prn.pdf
3. A. Leatherbarrow, *Fukushima. Il sole si scioglie*, Salani, Firenze 2022
4. A. Leatherbarrow, *Chernobyl 01:23:40. La storia vera del disastro nucleare che ha sconvolto il mondo*, Salani, Firenze 2019

Adattamento, mitigazione, rigenerazione: quali politiche per la sostenibilità ambientale?

Fiorenzo Ferlaino

Interventions for environmental sustainability suggest adaptation, mitigation and regeneration actions. The article clarifies the meaning of these terms and analyzes European policies, highlighting the geopolitical impact of the different strategies.

Key words: *Adaptation, Mitigation, Regeneration, Environmental sustainability.*

Le politiche per la sostenibilità ambientale suggeriscono azioni di *adattamento*, di *mitigazione* e di *rigenerazione*. “Adattamento” è un termine che arriva dalla teoria dell’evoluzione e indica la capacità che hanno gli organismi viventi di sopravvivere alle condizioni ambientali mutate. Nel caso della sostenibilità significa conformarsi, prendere le misure necessarie a sopravvivere nell’ambiente mutato. “Mitigare”, secondo l’Enciclopedia Treccani, significa “rendere più mite, cioè meno aspro, meno gravoso o, di sentimenti, meno intenso; lenire, stemperare, addolcire”. Anche in inglese mantiene il significato di ridurre, alleviare, diminuire. Nel caso dei cambiamenti climatici significa ridurre il trauma che sta arrivando, contrastare i cambiamenti in atto. “Rigenerare” è un termine che deriva anch’esso dalla biologia. Significa, sempre secondo la Treccani, “generare di nuovo. [...] ricostituire, riprodurre parti dell’organismo animale o vegetale, attuarne la rigenerazione”.

La Fig.1 mostra l’andamento delle emissioni di CO₂ nelle macroregioni quasi-continentali. Come si nota, l’andamento evidenzia due fasi: la prima, fino al 2000, di crescita esponenziale e la seconda, nel nuovo Millennio, di crescita lineare. Una dinamica in crescita che, come provano le analisi dell’IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), porta oltre i 2 gradi di aumento della temperatura per fine secolo (dall’inizio della rivoluzione industriale) e quindi fuori dai margini di resilienza del sistema Terra. Per restare entro 1,5 gradi di aumento (l’aumento già avutosi è di 1.09 gradi, secondo l’ultimo Rapporto, il sesto), i margini sono decisamente risicati. Nello scenario tendenziale, con crescita lineare della CO₂, se il tasso di crescita della temperatura dovesse continuare ai ritmi attuali, si raggiungerebbe un incremento di 1.5 °C già intorno al 2040 e per fine secolo la temperatura cre-



scerebbe sicuramente oltre i 2°, fino a toccare anche 5°. A partire da queste considerazioni l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di raggiungere entro il 2050 l'equilibrio emissivo della CO₂. L'articolo 4 dell'Accordo di Parigi recita infatti che "Per conseguire l'obiettivo a lungo termine relativo alla temperatura [...], le Parti mirano a raggiungere il picco mondiale di emissioni di gas a effetto serra al più presto possibile [...] e a intraprendere rapide riduzioni in seguito, in linea con le migliori conoscenze scientifiche a disposizione, così da raggiungere un equilibrio tra le fonti di emissioni e gli assorbimenti antropogenici di gas a effetto serra nella seconda metà del secolo"².

Nell'Accordo il termine "rigenerazione" non appare, mentre "mitigazione" appare 23 volte e ben 47 "adattamento". L'"equilibrio tra le fonti emissive e gli assorbimenti antropogenici" è una formula intelligente che evita il conflitto tra i sostenitori della sostenibilità mitigativa e i sostenitori della sostenibilità rigenerativa e forse suggerisce un superamento, operativo e ideologico, delle loro posizioni passando dalla disgiunzione esclusiva (out-out, alternativa) alla disgiunzione inclusiva (o l'una, o l'altra, o entrambe). Il conflitto tuttavia permane nelle diverse proposte economiche: la mitigazione fa infatti riferimento al paradigma dell'economia lineare che produce rifiuti

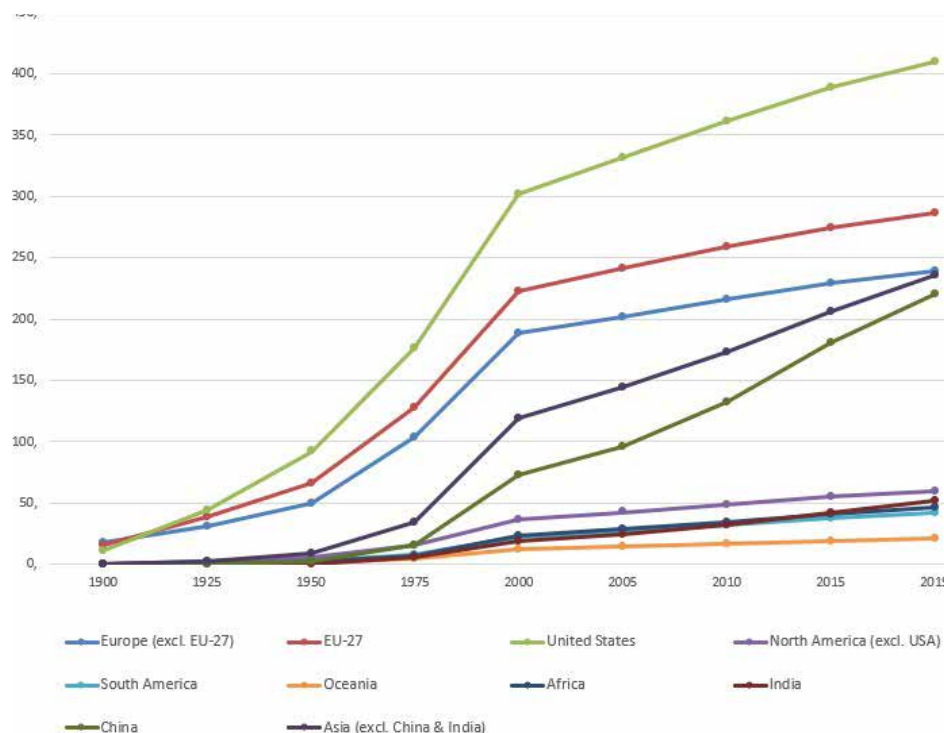


Fig. 1. Emissioni cumulative di CO₂ in miliardi di tonnellate prodotte nelle macroregioni quasi-continentali

e scorie radioattive, pertanto necessita di pozzi di stoccaggio, mentre la sostenibilità rigenerativa fa riferimento all'economia circolare che riusa, ricicla e rigenera i rifiuti e quindi, in linea di principio, non ammette lo stoccaggio degli stessi o lo ammette per temporalità brevi e tali da non lasciare il problema alle generazioni successive (rifiuti zero).

I sostenitori della sostenibilità mitigativa leggono la curva di Figura 1 come una logistica in fase di raggiungimento della sua capacità di carico. Carico difficilmente riducibile senza interventi di Carbon Capture and Storage (stoccaggio sotterraneo o nei fondali marini profondi, CCS). L'inesorabilità del processo di crescita della CO₂ emessa condurrebbe verso una soglia di produzione di CO₂ riducibile solo attraverso tecniche CCS. In tal senso la decarbonizzazione sarebbe

1. [https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX-22016A1019\(01\)&from=SV](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX-22016A1019(01)&from=SV)

2. Ausubel JH, *Nature Rebounds* (Long Now Foundation Seminar, San Francisco, 13 January 2015). <http://phe.rockefeller.edu/docs/>

già in atto e presto USA, Europa e Nord America raggiungeranno il massimo della curva logistica per poi calare intorno al 2050. Jesse H. Ausubel della Rockefeller University di New York (Fig. 2) si spinge oltre affermando l'avvenuta diminuzione della CO₂ emessa negli USA, con il massimo toccato nel 2007 e con il *delinking* (disaccoppiamento tra il PIL e l'emissione di CO₂) da tempo in atto. *Delinking* peraltro in atto anche in Unione Europea. Viene ipotizzato che qualora la curva continui con lo stesso andamento, tra 75 anni si ritornerà a valori molto prossimi a quelli registrati prima della rivoluzione industriale e questo grazie anche alle tecniche CCS.

Per i sostenitori della sostenibilità rigenerativa la diminuzione della CO₂ registrata nei paesi industrializzati a partire dal 2007 non sarebbe frutto della rivoluzione tecnica quanto della crisi economica sopraggiunta e dei processi di rilocalizzazione industriale nei paesi in crescita (Cina, Russia, Brasile, Sudafrica ecc.). Il risultato globale, come dimostrano i dati, è una crescita costante della CO₂ anche dopo il 2007 (con l'eccezione degli anni di pandemia). Per quanto riguarda le tecniche di CCS esse, si badi bene, sono ancora al di là da venire e al momento sono tecniche sperimentali non prive di rischi per l'ambiente³.

L'Industria 5.0, secondo la Commissione Europea, porrà "specificamente la ricerca e l'innovazione al servizio della transizione verso un'industria europea sostenibile: incentrata sull'uomo, resiliente e priva di emissioni di CO₂". Il conflitto tra sostenibilità mitigativa versus sostenibilità rigenerativa interessa chiaramente anche la futura industria e la produzione delle energie secondarie, quelle cioè che necessitano di un'energia primaria per essere prodotte. L'elettricità è un'energia secondaria che può essere stoccata in batterie che sono riciclabili al 96%. Questo la rende molto amata dai sostenitori della sostenibilità rigenerativa che mirano a chiudere i cicli e a produrre zero emissioni e zero scarti.

La tabella 1 (alla pagina seguente) riporta le emissioni delle diverse tecnologie in grammi di CO₂-equivalente emessa per ogni kWh di elettricità prodotta.

Come si può notare (valori in grassetto) si hanno bassissime produzioni di CO₂ per il solare e le energie rinnovabili (idroelettrico compreso) e per il nucleare. Non sappiamo come l'Industria 5.0 sia centrata sul sociale e sui bisogni dell'umanità (termini troppo vaghi e retorici), ma sicuramente dovrà risolvere il problema del surriscaldamento del clima. L'alternativa tra nucleare e solare (più

le altre Fonti di Energia Rinnovabili, FER) definirà gli scenari della nuova Industria 5.0. Non sappiamo come l'Industria 5.0 sia centrata sul sociale e sui bisogni dell'umanità (termini troppo vaghi e retorici), ma sicuramente dovrà risolvere il problema del surri

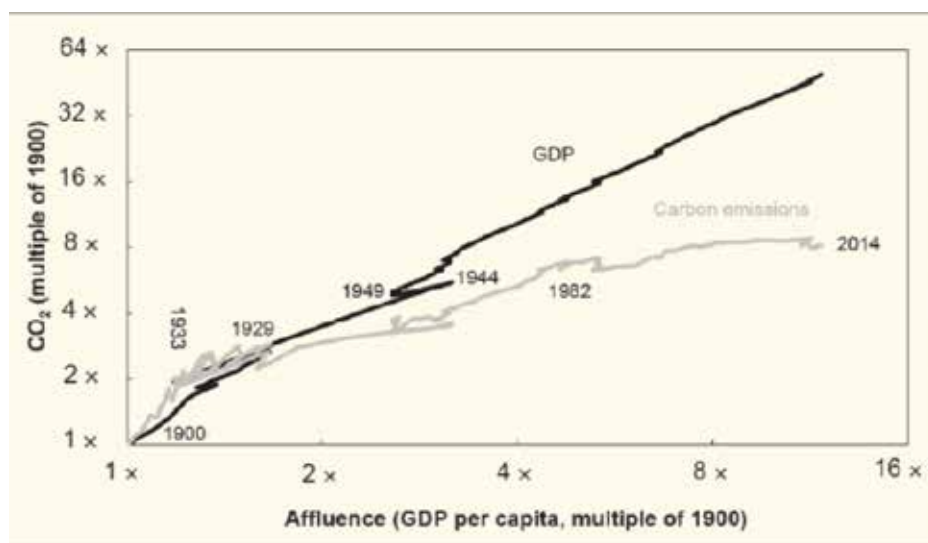


Fig. 2. Il *delinking* tra la crescita del PIL e le emissioni di carbonio secondo la Rockefeller University di New York

3. Sui rischi di questa tecnologia sono in atto studi. Quello maggiore è l'incremento dell'acidificazione del mare qualora si stoccasse la CO₂ nei fondali marini, mentre per lo stoccaggio sotto terra oltre alti costi sono da valutare

scaldamento del clima. L'alternativa tra nucleare e solare (più le altre Fonti di Energia Rinnovabili, FER) definirà gli scenari della nuova Industria 5.0. In questo contesto l'idrogeno gioca un ruolo piuttosto importante in quanto vettore energetico secondario utilizzabile nei trasporti, nel riscaldamento e in altri impieghi dove oggi si usano derivati dal petrolio, produttori quindi di CO₂ e altri gas climateranti o nocivi per l'organismo (Biossido di azoto NO₂ e particolato PM). Come si sa l'idrogeno ha il pregio di bruciare producendo come residuo della reazione semplicemen-

te acqua. È tuttavia un vettore (secondario) che necessita di una fonte primaria ad alta intensità energetica. La risposta a questo problema, secondo i sostenitori della sostenibilità mitigativa, conduce inesorabilmente al nucleare, unica energia oltre il solare a non produrre CO₂. La questione resta tuttavia controversa: il solare e le altre FER continuano, oramai da tempo, la loro crescita e negli USA hanno superato l'energia prodotta dal nucleare, che invece subisce una stasi, dopo numerose dimostrazioni di scarsa affidabilità⁴. Ma il cosiddetto "nucleare sicuro" è considerato da autorevoli fonti tra le tecnologie energetiche con-

i rischi di dispersione nell'ambiente, a breve (dispersione dei cicli di produzione) e a lungo termine (dispersione geofisica), e acidificazione delle falde acquifere.

Currently Commercially Available Technologies	(min/med/max)
Coal	740/820/910
Gas	410/490/650
Biomass—cofiring n.a	620/740/89
Biomass—dedicated	130/230/420
Geothermal	6.0/38/79
Hydropower	1.0/24/2200
Nuclear	3.7/12/110
Concentrated Solar Power	8.8/27/63
Solar PV	26/41/60
Solar PV—utility	18/48/180
Wind onshore	7.0/11/56
Wind offshore	8.0/12/35
Pre-commercial Technologies	
CCS—Coal—Oxyfuel	100/160/200
CCS—Coal—PC	190/220/250
CCS—Coal—IGCC	170/200/230
CCS—Gas—Combined Cycle	94/170/340
Ocean	5.6/17/28

**Tabella 1. Emissioni per la produzione di elettricità
Emissioni del ciclo di vita (incl. effetto albedo)**

Fonte: Elaborazione IPCC (2014, Table A.III.2)

correnti in grado di rispondere ai problemi posti dal riscaldamento climatico.

Per la produzione dell'idrogeno le scelte attualmente possibili sono tre.

La prima è quella incrementale dell'idrogeno grigio. Il metano e il petrolio possono essere oggetto di idrogenazione attraverso un processo ad alta intensità energetica che produce 9 kg di CO₂ ogni kg di idrogeno prodotto. L'eco-efficienza è pertanto bassissima ma l'industria petrolifera spinge chiaramente per questa soluzione per continuare a valorizzare il suo "core" produttivo. La soluzione di mitigazione per le 9 parti di CO₂ prodotte e

4. Considerando i soli incidenti di categoria 5, 6 e 7, cioè con rischio esterno alla centrale, grave e molto grave, si ricordano l'incidente di Three Mile Island, negli USA (1979), l'incidente di Windscale, in Gran

Bretagna (1957), e l'incidente di Goiânia, in Brasile (1987); per il livello 6 (incidente grave) l'incidente di Kys'tym, in URSS (1957); per il livello 7 (incidente molto grave) l'incidente di Černobyl', in URSS

(1986) e l'incidente di Fukushima, in Giappone (2011).

per il contrasto al cambiamento climatico è quella di stipare l'anidride carbonica sotto terra e di stoccarla nei giacimenti esausti di petrolio e gas, oppure di depositarla sul fondo marino, attraverso tecniche di CCS.

La seconda soluzione si basa sull'utilizzo della fusione nucleare e del nucleare sicuro. L'idrogeno è infatti il principale costituente delle stelle e del sole e un ipotetico reattore nucleare a fusione alimentato con deuterio o trizio e con piccole parti di idrogeno genererebbe una enorme quantità di energia utilizzabile: un modello di sole a scala micro. Esiste un progetto internazionale, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che sta tentando di produrre energia stabile in questo modo ma l'innovazione appare al momento lontana dall'essere prodotta. Esistono d'altra parte progetti per rendere più sicuro il nucleare da fissione attraverso centrali TWR (Traveling Wave Reactor) che userebbero (usiamo il condizionale dato che tali centrali non sono state ancora prodotte) un'unica carica di uranio impoverito, per l'intera durata della centrale, di 40-60 anni. L'elettricità diverrebbe in questo modo una fonte primaria non fossile attraverso cui generare idrogeno e gli scarti radioattivi resterebbero "bloccati" entro la centrale "morta".

La terza scelta è più semplice. È una scelta ad altissima eco-efficienza ma a bassissimo rendimento energetico. Si tratta della produzione di idrogeno attraverso un processo elettrolitico che scinde due molecole d'acqua in due di idrogeno e una di ossigeno. Per attuarlo c'è bisogno di moltissima energia elettrica che però può essere fornita dal sole attraverso centrali fotovoltaiche o centrali di Archimede o da altre fonti rinnovabili (idroelettrico, vento, biomassa): sole + acqua = idrogeno e via i combustibili fossili (che infatti non appaiono nella formula): $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$. Questa scelta è chiaramente sostenuta dai propugnatori della sostenibilità rigenerativa. La critica a questa modalità produttiva è relativa al costo, dai 4 ai 6 euro per un kg di idrogeno verde contro 1,5 euro di quello grigio. Tuttavia per il futuro è previsto un abbattimento dei costi, dati dal continuo calo dei costi energetici da fotovoltaico e

	2009	2019
Coal	111	109
Solar PV	359	40
Wind	135	41
Gas	83	56
Nuclear	123	155

Tabella 2 - Costo energetico livellato (LCOE)¹⁰ dell'elettricità prodotta in grandi impianti (> 1MWh)
Fonte Roser (2020)

da FER decisamente concorrenziali: oggi il costo dell'elettricità prodotto da mega impianti di fotovoltaico è il più basso (in grassetto), come si vede in tabella 2.

Per anni il costo è stato la motivazione principale dei sostenitori della sostenibilità mitigativa. Oggi, non potendo andare contro l'evidenza del mercato, hanno evidenziato un altro punto debole delle energie rinnovabili: lo spazio. Il Program for the Human Environment della The Rockefeller University ha prodotto per diversi anni pubblicazioni in cui si evidenzia come le tecnologie rinnovabili, in particolare quelle eoliche e fotovoltaiche, di fatto sono contro la natura perché la loro estensione, se dovessero prevalere, coprirebbe qualsiasi ambiente naturale: "Per sostituire i chilowattora prodotti dalla centrale nucleare di Diablo Canyon [in California] da 2200 MW, che occupa 1,5 miglia quadrate, ci vorrebbe un quadrato di 250 miglia quadrate di parco eolico". Lo stesso dicasi per le turbine alimentate a gas naturale di 14 GW localizzate al largo delle coste israeliane attraverso un impianto onshore compatto fatto da poche piattaforme, che "richiederebbe 900 miglia quadrate (2.400 km quadrati) di energia solare"⁵ (Ausubel, 2017, p. 7). Cioè un quadrato di 50 km di lato su valori di produttività del 2004. Un'enormità, sebbene meglio dell'idroelettrico e delle biomasse. Ma anche in questo caso la tecnologia ha fatto passi da gigante e oggi per produrre 1kW di energia elettrica bastano 8 m² di pannelli fotovoltaici: la stessa centrale di 14 GW occuperebbe uno spazio di 110,25 km², cioè un quadrato di 10,5 km di lato. Non è poco ma

nel deserto israeliano del Neghev di circa 12.000 km² (un quadrato di 110 km di lato) si potrebbe impiantare comodamente.

Siamo giunti alla questione fondamentale. È indubbio che le energie rinnovabili siano delle grandi consumatrici di spazio e, sebbene la loro produttività sia in costante crescita, esse continueranno a occupare spazio. Questo comporta forti cambiamenti nella geopolitica dell'energia. Gli spazi dove localizzare megacentrali per la produzione industriale di idrogeno verde, necessario a sostituire i combustibili fossili, soprattutto per i trasporti merci (navi, cargo e TIR muovono il 98% delle merci mondiali), dovranno essere localizzati nelle grandi aree desertiche, dove più forte batte il sole (subtropicali) e il vento (deserti freddi). Aree che dovranno essere connesse via mare o con una rete diffusa di idrogenodotti. Aree che interesseranno probabilmente i paesi sahariani (Algeria, Ciad, Egitto, Libia, Mali, Niger, Mauritania, Marocco, Sudan e Tunisia), quelli del deserto Rub' al-Khali (Arabia Saudita, Giordania, Iraq, Kuwait, Qatar, Emirati Arabi Uniti, Oman e Yemen), del Gobi (Mongolia e Cina), la Patagonia, il deserto Siriano, il deserto Vittoria australiano, eccetera. Dunque aree marginali che dovranno integrarsi alle aree centrali dello sviluppo. Uno scenario geoeconomico quindi nuovo, contrastato sia dai sostenitori della sostenibilità mitigativa delle tecniche di CCS e del nucleare sia dai difensori del paesaggio incontaminato e della natura inviolata dalle azioni umane. ●

5. Ausubel JH, *Density: Key to Fake and True News About Energy and Environment* (Presented at a meeting of the American Association of Petroleum Geologists, *Next 100 Years of Global Energy Use:*

Resources, Impacts and Economics, Houston Convention Center, 4 April 2017). <http://phe.rockefeller.edu/docs/Density.pdf>

Nuovi orientamenti di economia e diritto in tema di tutela ambientale
a cura di Sergio Sparacia e Filippo Alessandro Cimino
Wolters Kluwer 12/2019



Il libro approfondisce l'esigenza di conciliare crescita economica e tutela ambientale per salvaguardare il "nostro futuro comune", esigenza alla base dello *sviluppo sostenibile* nella società globalizzata. Emerge la necessità di definire cogenti obiettivi politici che, coniugando profili ecologici, sociali ed economici, indirizzino la transizione verso una società decarbonizzata fondata sull'economia circolare.

La prima parte, dedicata a "Risorse, economia circolare e ambiente", affronta tematiche originali relative ai rapporti tra sostenibilità ambientale ed economia circolare, all'etica motivazionale e ai sistemi di gestione ambientale.

Nella seconda parte, che si occupa di "Responsabilità e ambiente", vengono esaminati profili attinenti alla responsabilità penale, al principio di precauzione, e all'influenza della criminalità organizzata sul settore ambientale.

L'ultima parte è dedicata a "Fiscalità, sviluppo sostenibile e ambiente". Il filo conduttore è la considerazione della norma tributaria come strumento indirizzato a contrastare le attività inquinanti e ad agevolare i comportamenti coerenti con la tutela ambientale. Gli autori si soffermano: sulla categoria dei cosiddetti tributi ambientali, sul ruolo ambientale delle accise, sull'imposta di soggiorno, sugli strumenti della fiscalità ambientale a livello locale e sulla tassazione dei rifiuti nella prospettiva comunitaria. Nell'ambito dello sviluppo sostenibile e dei potenziali ostacoli ai flussi mercantili internazionali vengono analizzate le misure e le barriere non tariffarie.

Progetto Genoma Umano: un fallimento di successo

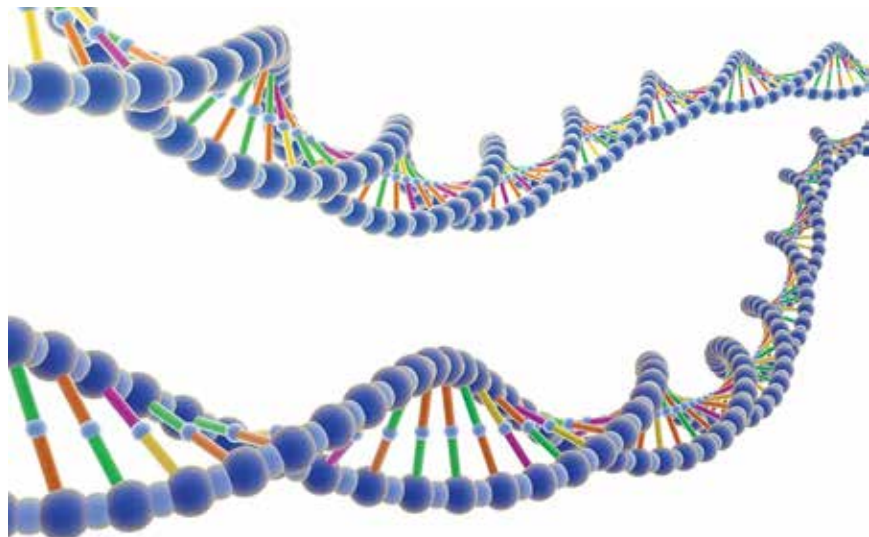
Fabio Fantini

The success of HGP has been modest compared to the expectations nurtured at the project's inception. The nucleotide sequence that drives protein synthesis is only one detail within a complex metabolic control network that affects the entire cell. A major role is played by numerous types of RNA, which are able to modulate their regulatory action according to environmental conditions and to whose synthesis much of the information in the DNA is dedicated.

Key words: *Human Genome Project, DNA, RNA.*

Il 3 agosto 1492 dal porto andaluso di Palos salpò una celebre spedizione marittima che contava su tre caravelle e intendeva aprire una nuova rotta occidentale per raggiungere l'Asia Orientale. La spedizione guidata dall'ammiraglio Colombo, i cui calcoli avevano grandemente sottostimato le dimensioni della Terra, andò incontro a un fallimento clamoroso. Altro che le bramate Indie, il 12 ottobre di quello stesso anno l'ammiraglio Colombo e la sua spedizione andarono a sbattere il naso su un continente sconosciuto che gli si era inaspettatamente parato di fronte! Fu, però, un fallimento di successo, tale che oggi nessuno¹ negherebbe l'importanza di quella azzardata² impresa nella storia dell'umanità.

Quasi cinque secoli più tardi, nel 1990, fu avviato un progetto di ricerca internazionale per determinare la sequenza delle coppie di basi azotate che formano il DNA e identificare e mappare i geni del genoma umano, denominato Human Genome Project (HGP). Può essere utile tornare con la memoria a quegli anni e ricordare il contesto nel quale il progetto fu avviato. Le scoperte della biologia molecolare avevano rafforzato, nel mondo scientifico così come nell'immaginario collettivo, un modello dei sistemi



1. Forse l'affermazione dovrebbe essere un po' più prudente: qualche discendente dei pochi Amerindi sopravvissuti allo sterminio causato dalle successive invasioni europee potrebbe non concordare appieno.

2. L'azzardo risiedeva nel fatto che Colombo stimava in circa 3.500 le miglia marine che avrebbero separato Palos dall'Asia Orientale, una distanza circa un terzo di quella reale. Le provviste necessarie per affrontare un viaggio così

lungo avrebbero ecceduto le capacità di carico del naviglio dell'epoca. Se non avesse avuto il colpo di fortuna di imbattersi nelle Americhe, la spedizione di Colombo sarebbe svanita nell'oceano.

viventi in cui l'informazione biologica contenuta nel DNA guida un processo gerarchico a cascata che, attraverso la sintesi delle proteine, finisce con il determinare le caratteristiche della cellula e di conseguenza i caratteri fenotipici dell'organismo. Il successo di questo modello era rafforzato dalla perfetta integrabilità con le teorie evolutive della Sintesi Moderna, per cui d'ora in avanti sarà indicato come modello dell'evoluzione molecolare. L'informazione biologica è scritta nel linguaggio dei nucleotidi, che era stato decifrato negli anni Sessanta. Il sequenziamento del DNA, cioè l'individuazione della successione dei nucleotidi, avrebbe consentito di leggere di prima mano le istruzioni che regolano il metabolismo. All'epoca il sequenziamento del DNA era un processo lento e laborioso, che permetteva di "leggere" solo brevi frammenti isolati, lunghi poche decine di nucleotidi e difficili da raccordare tra loro. Il sequenziamento del genoma umano, composto da 3,2 miliardi di coppie di basi, sembrava una mèta irraggiungibile, ma la situazione era meno disperata di quanto apparisse. Pochi anni prima, infatti, un estroso³ biochimico americano, Kary Mullis, aveva elaborato un metodo per ottenere *in vitro* milioni di copie di una molecola di DNA, condizione indispensabile per sequenziare il DNA. Inizialmente lento e costoso, il processo di sequenziamento fu rapidamente automatizzato e andò incontro a un inarrestabile processo di aumento della velocità e di diminuzione dei costi. Inoltre, già dagli anni Settanta si era sviluppato lo studio

degli enzimi di restrizione, che aveva aperto la strada verso la manipolazione e la ricombinazione del DNA. Non c'era biologo al mondo che non vedesse le implicazioni dello spettacolare sviluppo combinato delle tecniche di sequenziamento del DNA e delle biotecnologie e non se ne entusiasmasse⁴. La possibilità di leggere, e forse un giorno⁵ anche di modificare, l'informazione genetica diventava una prospettiva realistica, forse faticosa ma non irraggiungibile.

Privo dei problemi di finanziamento⁶ (e di sopravvivenza fisica dei partecipanti) che avevano angustiato l'ammiraglio Colombo, lo HGP fu dichiarato completato già nel 2000⁷, anche se a essere completata era stata solo una prima bozza della sequenza nucleotidica del genoma umano. L'annuncio del completamento del progetto fu di nuovo diffuso nel 2003, con approssimazione migliore, ma solo nel 2023 fu infine pubblicata la sequenza del cromosoma Y, il più ostico all'indagine⁸. L'impresa era conclusa, ma sarebbe esagerato affermare che fosse stata coronata da successo. Il sequenziamento era stato eseguito fin nei reconditi più eterocromatinizzati del DNA umano, questo è vero, ma il quadro che ne usciva era molto diverso da quello che le premesse teoriche del progetto avevano lasciato sperare.

L'ambizione manifesta dello HGP era lo svelamento del "libro della vita", cioè la lettura e il controllo delle istruzioni programmatiche⁹ codificate nella sequenza nucleotidica del DNA¹⁰. Il ragionamento era convincente: il metabolismo cel-

3. L'aggettivo "estroso" è una qualificazione fortemente riduttiva della personalità eccentrica di Kary Mullis, premio Nobel per la chimica nel 1993, personaggio capace di esercitare la propria intuizione e la propria fantasia, sempre geniali ma non sempre attente al principio di realtà fisica, in un numero considerevole di campi, dall'astrologia, all'immunologia, allo studio del paranormale.

4. Non escluso l'autore di questo articolo.

5. Quel giorno è ormai arrivato da diversi anni, ma molte aspettative sono andate deluse, come potrete constatare se avrete la pazienza di proseguire nella lettura.

6. Lo HGP fu finanziato nel 1990 con 3 miliardi di dollari. Caso forse unico per i progetti sorretti da finanziamento pubblico, al termine dell'impresa il costo risultò del 10% inferiore rispetto al preventivato, a causa dell'accelerazione superiore a ogni previsione della velocità e della economicità del sequenziamento del DNA. L'impresa

di Colombo fu finanziata con 2 milioni di maravedi, valuta spagnola dell'epoca, corrispondenti a circa 50.000 dollari.

7. L'annuncio fu dato in contemporanea il 26 giugno 2000 dal presidente statunitense Bill Clinton e dal primo ministro britannico Tony Blair, non senza una certa attenzione alle ripercussioni mediatiche.

8. Rhie A e. a., *The complete sequence of a human Y chromosome*, Nature, 621 (7978): 344–354, August 2023.

9. È difficile sopravvalutare il ruolo delle metafore nello sviluppo e nell'affermazione delle teorie scientifiche. A loro volta le metafore sono influenzate dal contesto storico, che nel caso dello HGP vedeva il prorompente sviluppo dell'informatica. Non è pertanto sorprendente che al DNA fosse attribuito il ruolo di software dei sistemi viventi, con l'apparato metabolico cellulare nel ruolo dello hardware.

10. Per rimanere in tema di metafore, una facile suggestione porta a ricordare quanto

lulare segue il programma codificato nel DNA, se noi leggiamo, comprendiamo e impariamo a intervenire su questo programma, potremo imparare a guidare secondo le nostre intenzioni il funzionamento dei sistemi viventi. La realtà che il completamento del progetto aveva rivelato era diversa dalle aspettative e non sempre compatibile con le attese. Il concetto di gene rappresenta una delle pietre angolari della biologia del Novecento. Venuto alla ribalta (anche se con altro nome) con i lavori di Mendel, il concetto di gene come unità ereditaria fondamentale ha subito successivi affinamenti nel corso del Novecento. La prima identificazione della natura fisica del gene fu il risultato della straordinaria impresa scientifica condotta da Thomas Morgan e dal suo gruppo di ricerca alla Columbia University a partire dal 1910 e culminata con l'attribuzione del premio Nobel per la medicina allo stesso Morgan nel 1933. Venti anni prima che Watson e Crick pubblicassero il loro articolo sulla struttura del DNA, la mappatura dei cromosomi di *Drosophila* aveva consentito di attribuire ciascu-

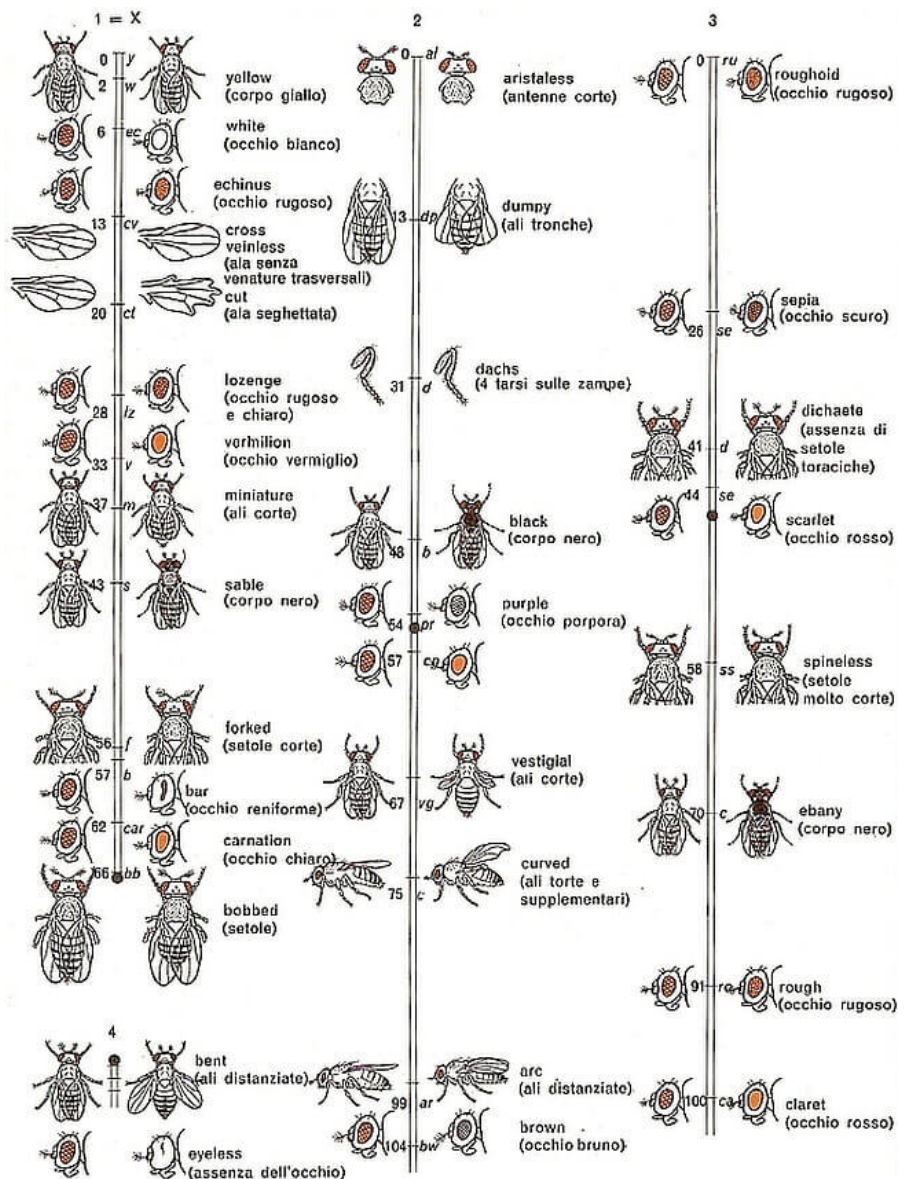


Fig. 1. Mappatura dei quattro cromosomi di *Drosophila melanogaster* ottenuta dal gruppo di Morgan. Il cromosoma 4, molto più piccolo degli altri tre, compare in basso a sinistra. La mappatura aveva riguardato i caratteri fenotipicamente più evidenti, rispetto ai quali era stato possibile ottenere varianti da studiare.

no di una serie di caratteri fenotipici all'azione di uno specifico gene, di cui era stata individuata la posizione nei cromosomi metafasici¹¹ (fig. 1). Una facile estrapolazione portava a immaginare

scrive Galileo Galilei nel 1623 (*Il Saggiatore*): "La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non

s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intender-

ne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto": basi azotate anziché triangoli, cerchi e altre figure geometriche, ma il principio è lo stesso.

11. Ciò fu possibile grazie a lunghi esperimenti di ricombinazione e a pazienti osservazioni al microscopio ottico, coordinati e integrati da analisi statistiche raffinate. Si trattò di un progetto di ricerca che non

i cromosomi che componevano il cariotipo di ciascun individuo come ordinamenti lineari dei geni responsabili dell'intero corredo di caratteri individuali. L'identificazione del DNA come materiale ereditario specificò meglio la natura chimica del gene, che, da generico "tratto di cromosoma", passò a essere "tratto di DNA". Mentre il concetto di informazione cominciava a farsi largo nelle teorie biologiche più accreditate, la scoperta della struttura del DNA e la decifrazione del codice genetico portavano a considerare il gene come una sorta di *subroutine* all'interno del più ampio programma che regola il metabolismo. Il gene era pertanto identificato con una sequenza nucleotidica che guida la sintesi di una proteina, aperta da un promotore e chiusa da un codone non senso. Già a partire dal 1977 era diventato evidente che la situazione era più complessa di quanto si fosse pensato: il fatto che, in particolare negli eucarioti, i geni fossero spesso costituiti da esoni alternati a introni lasciava intendere che l'attraente linearità di comportamento biochimico ipotizzata per spiegare il flusso di informazione contenuta nel DNA fino alla manifestazione dei caratteri fenotipici rappresentava un'approssimazione per difetto di una realtà ben più articolata. Fra le altre cose, era anche evidente che il prodotto della trascrizione di un gene non era necessariamente mRNA, poteva trattarsi anche di tRNA o di rRNA. Nel 1994 questa esigenza era stata ben compresa, se uno dei più prestigiosi testi di biologia molecolare¹² definiva il gene come una "regione di filamento del DNA capace di produrre una molecola funzionale di RNA". Ma non è finita qui. Nel 1990, al lancio dello HGP, si stimava che il sequenziamento del genoma umano avrebbe in-

dividuato circa 100.000 geni. Si trattava di una stima basata sul numero di caratteri che, in un organismo complesso come quello umano, sarebbero stati determinati ciascuno da uno specifico gene. Anche tenendo conto dell'errore di sopravvalutazione, in cui all'epoca si incorreva frequentemente, del ruolo dei geni, nessuno si attendeva che lo HGP avrebbe rivelato un numero di geni di fatto di un ordine di grandezza inferiore, intorno a 20.000¹³. A moderare la sorpresa di questo dato, possiamo ricordare che il proteoma, in particolare negli eucarioti, è più ampio del genoma: ci sono più proteine che geni. L'eccesso di proteine rispetto al numero dei geni non salta fuori dal nulla: fenomeni di ricombinazione genetica, promotori genici alternativi, siti di terminazione alternativi, processi alternativi di maturazione dell'mRNA, modificazioni post-traduzionali a carico delle proteine¹⁴ consentono di spiegare la sintesi di una varietà di proteine ben più ampia del numero di geni.

Il ridotto numero di geni non è l'unico dato sorprendente scaturito dallo HGP. In maniera di fatto consequenziale, si scoprì che la percentuale (in termini di coppie di basi) di DNA codificante per le proteine era intorno al 2%. Il 98% e oltre del DNA umano non aveva alcun ruolo nella sintesi proteica e fu forte la tentazione, cui cedettero molti ricercatori, di definirlo "DNA spazzatura". Per conservare la preminenza gerarchica del DNA nel metabolismo cellulare, cara a quasi tutti i ricercatori protagonisti dello sviluppo della biologia molecolare, si accettava che il genoma fosse formato per la quasi totalità da sequenze inutili, probabilmente inserimenti operati da virus che avevano infettato lontani antenati o frammenti

solo inaugurò un metodo che avrebbe poi ispirato molte ricerche successive, ma segnò anche l'ingresso in forze degli scienziati e dei centri di ricerca statunitensi nel campo della genetica.

12. Alberts B, Bray D, Lewis J, Raff M, Roberts K, Watson JD, *Molecular Biology of the Cell*: Third Edition, London,

UK, Garland Publishing Inc., 1994.

13. Ci si potrebbe meravigliare che, nel 2024, questo numero sia ancora vago. In realtà stime precise all'unità sono state fornite, per esempio M. Pertea M e a., nell'articolo *Thousands of large-scale RNA sequencing experiments yield a comprehensive new human gene*

list and reveal extensive transcriptional noise, pubblicato nel 2018 su bioRxiv, fissano il numero dei geni codificanti proteine in 21.856. Ma non sempre c'è accordo (per usare un eufemismo) su come individuare i geni. Un articolo sulla stessa rivista a firma Jungreis I e a., pubblicato poco più di un mese dopo del precedente e intitolato *Nearly all new*

protein-coding predictions in the CHES database are not protein-coding, critica il criterio di individuazione dei geni impiegato da M. Pertea e a. E questo è solo un esempio. Rimaniamo, quindi, su una stima generale.

14. Non farò carico al lettore della descrizione di questi processi; chi fosse interessato

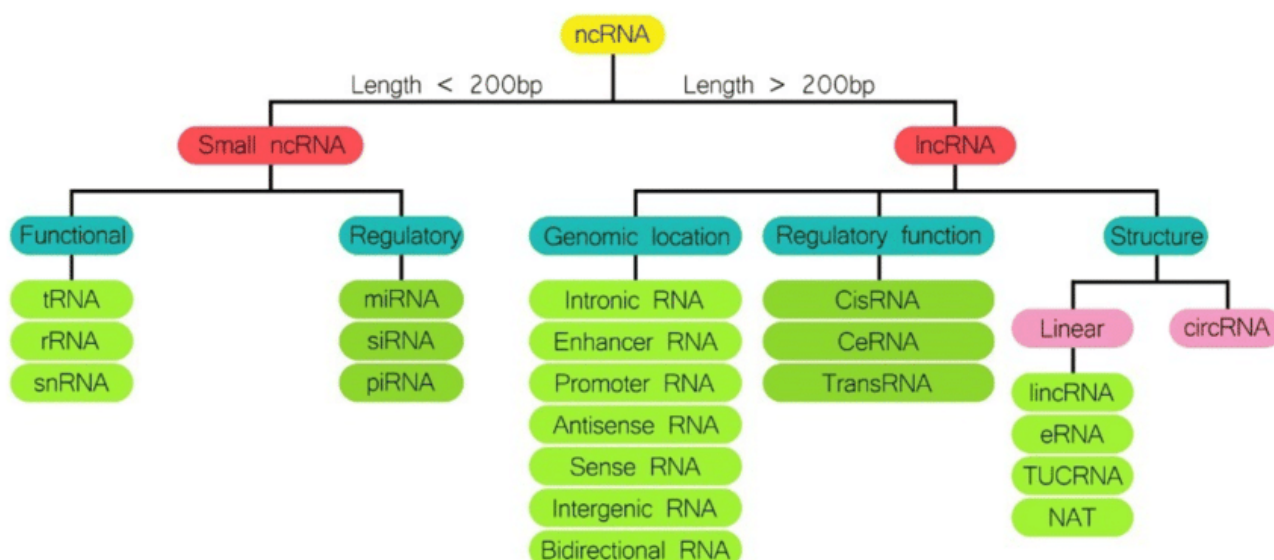


Fig. 2. Rappresentazione schematica della classificazione degli ncRNA. Gli ncRNA sono classificati in base alle loro dimensioni in lncRNA (long non coding RNA) e piccoli ncRNA. Gli lncRNA possono essere classificati anche in base alla loro struttura, funzione e posizione genomica. da: Hassan G, Zolfaghar S, Hamid G., Zaker S, Behnam A, *Circular RNAs in β -cell function and type 2 diabetes-related complications: a potential diagnostic and therapeutic approach*, Molecular Biology Reports, 46(5):5631-5643, 2019 Oct.

ancestrali rimasti casualmente intrappolati nel meccanismo di duplicazione del DNA e privi di una funzione precisa. Una parziale rivalutazione di parte del “DNA spazzatura” seguì alla scoperta del ruolo di tratti di DNA non codificante nei processi di regolazione dell’espressione genica, ma la preponderanza di sequenze apparentemente inutili continuava a rendere perplessi i biologi. A rendere il quadro ancora più problematico arrivarono, nel 2012, i risultati del progetto ENCODE¹⁵, che indicavano come almeno il 75% del DNA fosse trascritto in RNA. Bisognava capire, allora, che cosa producesse l’informazione contenuta in quel 73% circa di DNA trascritto, ma non destinato a scegliere gli amminoacidi da inserire in una struttura proteica.

L’RNA non codificante per proteine, indicato genericamente con la sigla ncRNA (*non-coding* RNA) (fig. 2), interviene non solo nella traduzione, ma anche nella regolazione genica, attivando o disattivando la trascrizione dei geni e anche modulandone l’attività¹⁶ (fig. 3, alla pagina seguente). È ncRNA a giocare un ruolo decisivo nei processi di regolazione epigenetica. È ncRNA a intervenire nello *splicing* alternativo, il processo che porta alla formazione di proteine diverse a partire da uno stesso gene, in conseguenza di un diverso arrangiamento degli esoni. Ed è ancora ncRNA a guidare il *trans-splicing*, la produzione di una unica molecola di mRNA a partire da esoni trascritti da tratti di filamenti di DNA lontani tra loro, a volte situati anche su cromosomi diversi o addi-

a qualche dettaglio in più, può trovare ampia documentazione on line, anche se non sempre in italiano.

15. La sigla ENCODE sta per Encyclopedia of DNA Elements, un consorzio di ricerca pubblico fondato nel 2003 negli Stati Uniti con l’obiettivo di individuare tutti gli elementi funzionali del genoma umano.

16. Il numero di RNA che si vanno scoprendo è sorprendente. Per distinguere, in genere in base alla funzione svolta, i diversi tipi di RNA, si fa uso di acronimi in caratteri minuscoli (naturalmente derivati dai termini inglesi) che precedono l’acronimo RNA. Qualche esempio: oltre ai ben noti mRNA e tRNA, abbiamo ncRNA, lncRNA, miRNA, siRNA.

In alcuni di questi tipi, poi, si individuano famiglie diverse, come per esempio le famiglie di miRNA chiamate miR-15a e miR-16-1. Se a questo punto pensate di averne avuto abbastanza, vi sarà chiaro perché queste considerazioni siano finite in nota a piè di pagina. Esiste una mole rilevante di lavori sul ruolo degli ncRNA, riporto di seguito tre citazioni

indicative, una per ciascuno dei processi metabolici menzionati.

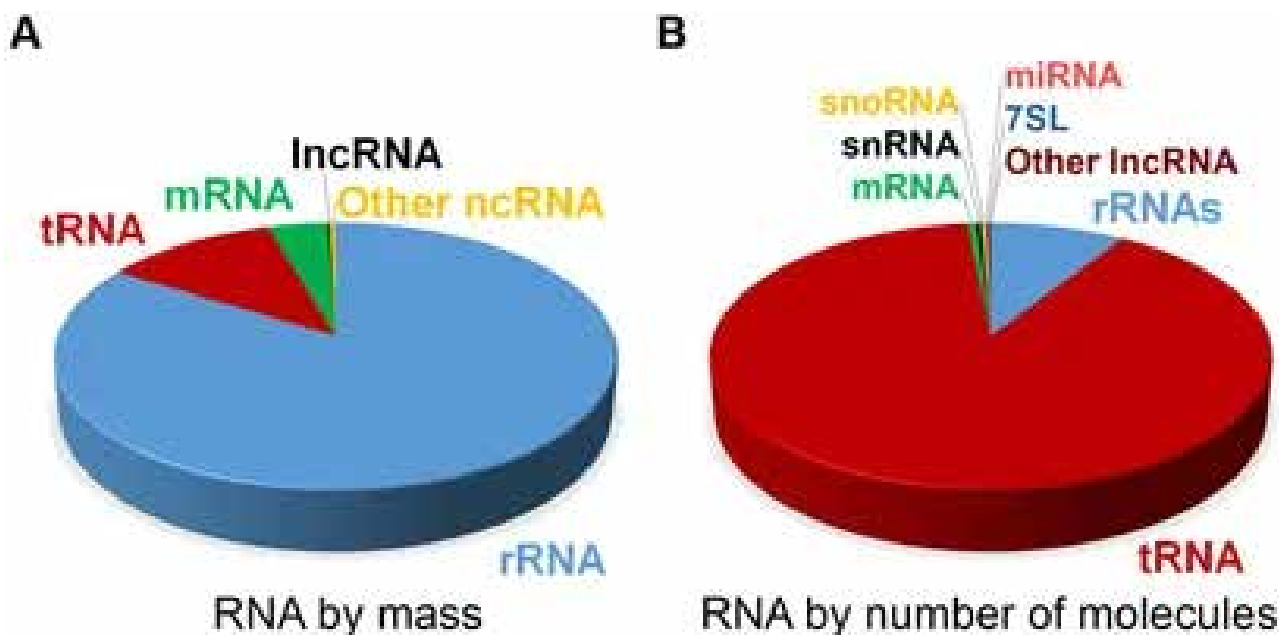


Fig. 3. Proporzioe delle varie classi di RNA nelle cellule somatiche di mammifero per massa totale (A) e per numero assoluto di molecole (B). Il numero totale di molecole di RNA è stimato in circa 10^7 per cellula. Gli altri ncRNA in (A) includono snRNA, snoRNA e miRNA. A causa delle dimensioni relativamente grandi, rRNA, mRNA e IncRNA costituiscono una proporzione maggiore della massa rispetto a quella del numero complessivo di molecole. da: Palazzo A, Lee E S, *Non-coding RNA: what is functional and what is junk?*, Frontiers in Genetics, Volume 6, 2015

rittura provenienti da individui diversi (caso che si presenta in alcune infezioni virali)¹⁷.

Il modello dell'evoluzione molecolare, basato sulla trascrizione di un preciso tratto di DNA in mRNA seguita dalla sintesi proteica operata con la precisa scelta di un amminoacido dopo l'altro e conclusa dall'impiego metabolico del prodotto della sintesi, può forse valere per una minima parte delle proteine prodotte da una cellula. In generale le proteine sono il prodotto di una bolgia infernale di regolazioni, scissioni, modificazioni, che avvengono in un ambiente cellulare assai più dinamico e meno prevedibile di quanto si sospettasse¹⁸. Il tutto è attuato da una rete ancora poco indagata di interazioni molecolari che risentono, con ogni probabilità, anche delle condizioni ambientali. L'idea che molti biologi si stanno facen-

do è che un sistema così articolato e complesso abbia elevata resilienza e che renda possibili adattamenti e variazioni senza produrre quella pericolosa sensibilità a piccoli cambiamenti che caratterizza, invece, un sistema rigidamente programmato.

Lo sviluppo delle tecniche di sequenziamento e della bioinformatica ha permesso di individuare i tratti di DNA associati alla manifestazione di determinati caratteri, aggirando di fatto il tradizionale concetto di gene. Attraverso indagini indicate con l'acronimo GWAS, dall'inglese *genome wide association study*, si mette a confronto il DNA dell'intero genoma di un gruppo sperimentale di individui che manifestano un particolare carattere, per esempio una malattia, con quello di un gruppo di controllo formato da un numero

17. Esiste una mole rilevante di lavori sul ruolo degli ncRNA, riporto di seguito tre citazioni indicative, una per ciascuno dei processi metabolici menzionati. Jian-Wei W, Kai H, Chao Y, Chun-Sheng K, *Non-coding RNAs as regula-*

tors in epigenetics, Oncology Reports, 37(1):3-9, 2017; Jan. Ouyang J, Zhong Y, Zhang Y e. a., *Long non-coding RNAs are involved in alternative splicing and promote cancer progression*, British Journal of Cancer, 126:1113-1124, 2022; Eul J,

Patzel V, *Homologous SV40 trans-splicing: a new mechanism for diversification of viral sequences and phenotypes*, RNA Biology, 10 (11):1689-1699, 2013 Nov.

18. Anche se si tratta di un argomento su cui questo articolo non può soffermarsi, segnalo al lettore interessato un breve articolo che riassume alcuni lavori precedenti: Paldi A, *Stochastic or Deterministic? That*

equivalente di persone sane, ma con caratteristiche le più simili possibili agli individui del gruppo sperimentale (fig. 4). Gli studi di associazione individuano e localizzano in genere uno o più SNP¹⁹ correlati positivamente in modo significativo con la malattia. Dà da riflettere il fatto che quasi il 90% degli SNP correlati ai caratteri studiati sono esterni ai tratti di DNA che codificano per proteine, cioè a quelli che fino a pochi lustri fa sarebbero stati chiamati i geni dell'individuo. Anche tenendo conto di alcune necessarie caute-

le relative alle indagini GWAS²⁰, la definizione di gene diventa sempre meno importante e meno significativa, perché fornire una univoca e precisa sembra, al momento, al di là delle possibilità di ricercatori e scienziati.

Il genoma si sta rivelando ben lontano da quella rigida sequenza di istruzioni in attesa di essere trasmesse a catena al resto della cellula che era prevista nel modello dell'evoluzione molecolare. Il genoma stesso sembra sottoposto a una serie di regolazioni e adattamenti che dipendono dalle

caratteristiche dell'ambiente, capaci di modulare non solo l'accesso alle informazioni, ma anche caratteristiche quantitative e qualitative dei prodotti che ne derivano. Questa dinamica elasticità nell'uso dell'informazione ereditaria non è dissimile dagli adattamenti fisiologici con cui un organismo è capace di adattarsi a mutevoli condizioni ambientali. Per esempio, quando il nostro organismo è portato dal livello del mare a una quota di 3.000 m inizia a modificare il proprio metabolismo in modo tale da ovviare alla ridotta concentrazione di ossigeno nell'aria respirata. Lo stress dovuto alla permanenza alle

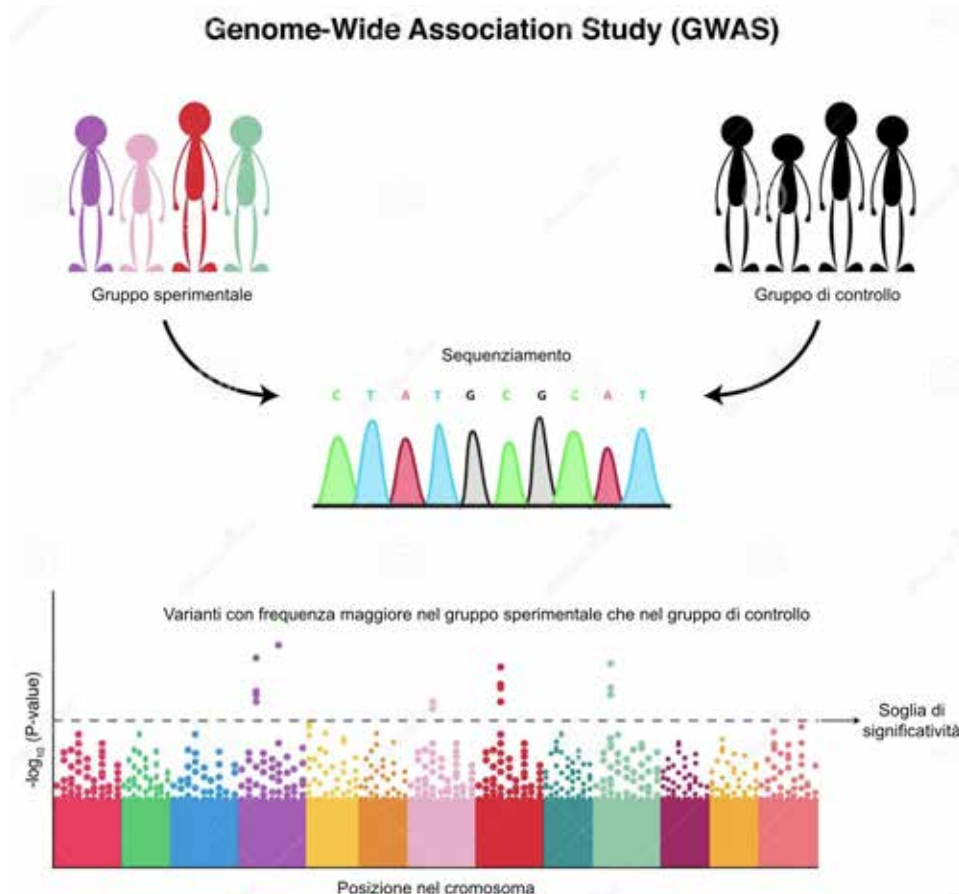


Fig. 4. I genome-wide association studies sono in grado di localizzare SNP associati a varianti o mutazioni patogene confrontando un gruppo sperimentale con un gruppo di controllo.

da: <https://www.dreamstime.com/gwas-image249220806>

is the Question, *Organisms*, Journal of Biological Sciences 4, 2020, 77–79. Nell'articolo si argomenta che l'espressione differenziale dei geni, nel corso del processo di differenziazione cellulare come nel processo di sviluppo embrionale, è provocata da interazioni casuali tra

molecole. Gli schemi di espressione genica apparentemente predeterminati che caratterizzano i fenotipi definitivi delle cellule sono il risultato di una stabilizzazione selettiva di alcuni schemi dovuta alle interazioni tra cellule.

19. SNP è l'acronimo di *single nucleotide polymorphism*, cioè una variazione di un singolo nucleotide. Per convenzione, la variazione è considerata polimorfismo se presente nella popolazione oggetto di studio in percentuale superiore all'1%.

20. Per godere di una sufficiente attendibilità statistica, i GWAS devono essere condotti su un grande numero di polimorfismi. Per ciascuna correlazione individuata, si ha una stima con il relativo intervallo di fiducia. Per quanto il meto-

alte quote provoca aumento della ventilazione polmonare, cambiamenti emodinamici, ematopoietici ed ematologici, altera la secrezione ormonale, modifica gli equilibri idrici. Molti di questi adattamenti implicano variazioni nella regolazione dell'espressione genica, attuate attraverso reti di interazioni che si sono evolute come risposta a condizioni di stress²¹.

La metafora del DNA come software, che aveva guidato l'ideazione, lo sviluppo e la realizzazione dello HGP, non è più adeguata a rendere conto dei dati sperimentali raccolti. Anzi, cominciano a essere frequenti i casi in cui si rivela fuorviante. Proprio grazie alle acquisizioni dello HGP oggi è chiara l'inadeguatezza di uno dei capisaldi della biologia molecolare, vale a dire la uniformità del comportamento metabolico di tutte le cellule, con le più semplici cellule procariotiche che potevano essere studiate come modello esauriente delle più complesse cellule eucariotiche. Il sequenziamento dei genomi ha evidenziato che nei procarioti il DNA è costituito quasi interamente da tratti codificanti per proteine. La complessità metabolica dei procarioti si avvicina al modello iniziale della biologia molecolare molto più di quella, assai maggiore, degli eucarioti. Non è evidentemente un caso che il successo nelle operazioni di ingegneria genetica sia stato elevato quando si è agito sui procarioti, mentre i successi per quanto riguarda gli eucarioti siano stati sporadici e raramente replicabili. Il DNA rappresenta solo un attore di una intricata rappresentazione metabolica, particolarmente complessa negli eucarioti, e non possiede la prerogativa della direzione e del coordinamento del metabolismo. Per rendere ragione del funzionamento degli organismi, occorre tenere conto anche di tutte le interazioni nel metabolismo cellulare, spesso evolutesi per garantire resilienza all'intero sistema.

La presenza nel DNA dell'informazione per sintetizzare le proteine non è in discussione, ma lo è la

pretesa totalizzante di questa affermazione. Consideriamo la più avanzata biotecnologia oggi disponibile, il CRISPR, basata sulla correzione dei geni anziché sull'introduzione di nuovi geni. Per garantire il successo dell'editing genomico non è sufficiente essere capaci di mirare il bersaglio con la massima accuratezza possibile, cioè quella del singolo nucleotide. Interventi che agiscono sul solo DNA senza considerarne l'interattività con il più ampio contesto cellulare potrebbero essere poco efficaci, perché i processi metabolici su cui si è intervenuti potrebbero essere aggirati o resi poco rilevanti dalla flessibilità del metabolismo cellulare.

Il modello dell'evoluzione molecolare ha guidato i progressi della biologia per tutta la seconda metà del Novecento e anche nell'avvio del nuovo secolo. Diventa gradualmente più evidente che questo modello fornisce una rappresentazione approssimata del funzionamento dei sistemi viventi. Per alcuni scopi l'approssimazione è tollerabile, ma non per tutti. Non è un caso che i limiti del modello dell'evoluzione molecolare siano emersi quando ci si è proposti di passare dalla comprensione alla manipolazione dei sistemi viventi.

Il successo dello HGP sta nell'aver aperto la strada per ripensare e superare quello stesso modello dei sistemi viventi che era stato alla base del progetto. Le nuove conoscenze apportate dallo HGP, unite a quelle ricavate dallo studio dei genomi di molti altri organismi, mettono in crisi molte idee che avevano guidato l'impetuoso sviluppo della biologia molecolare negli ultimi decenni. Le crisi della conoscenza scientifica sono le occasioni privilegiate per sviluppare nuove visioni del mondo, al prezzo di abbandonare o addirittura rovesciare quelle precedenti, ma con il vantaggio di migliorare la propria conoscenza della natura e di avviare nuovi percorsi di sviluppo. ●

do di stima sia affidabile, esiste una pur piccola probabilità che esso possa essere fallace. Su un grande numero di correlazioni esaminate, si potrebbero per-

tanto determinare falsi positivi in numero non trascurabile.

21. La capacità di mantenere la stabilità dei sistemi fisiologici

per mezzo del cambiamento è indicata con il termine *allostasi*. Questa capacità dipende dall'efficienza dell'organismo nel regolare sia la fisiologia sia

i meccanismi comportamentali che supportano e modulano la fisiologia stessa.

uno scatto alla natura

Convergenze evolutive

testo e foto di Marco Bondini



Fotocamera: Olympus OM-D E-M1 II Obiettivo: Olympus M.Zuiko Digital ED 60mm f/2.8 Macro
Dati di scatto: 1/400 sec f/11, ISO 250, flash anulare

Secondo la teoria dell'evoluzione di Darwin, le specie si sono differenziate a causa della selezione naturale, assumendo nel corso delle generazioni le caratteristiche che avrebbero loro garantito una maggiore probabilità di sopravvivenza. In base a questa teoria, specie appartenenti a gruppi sistematici anche molto diversi, ma sottoposte agli stessi stimoli perché viventi nel medesimo habitat, avrebbero potuto svilupparsi in forme sostanzialmente simili. Si pensi, per esempio, alle pinne e alla forma idrodinamica, caratteristiche comuni a tante specie che si muovono nel mare, siano esse mammiferi, uccelli o pesci. Il fenomeno prende il nome di *convergenza evolutiva* e mi dà l'opportunità di farvi conoscere un insetto molto interessante: *Phymata crassipes*.

Durante una delle mie escursioni sul monte Conero (AN) stavo osservando i fiori delle ombrellifere in cerca di qualche insetto da fotografare e ho notato un imenottero completamente immobile. In casi come questo, l'insetto è morto, fatto che rivela quasi sempre la presenza di un ragno nei paraggi. Il ragno di solito rimane inosservato, perché ben mimetizzato.

Sulla mia ombrellifera, invece, di ragni non c'era traccia. Si vedeva solo un piccolo pezzo di foglia secca adagiato sul fiore. Guardando meglio, mi sono accorto con grande sorpresa che la foglia era in realtà un insetto, perché aveva le zampe e soprattutto aveva un rostro potente con cui stava perforando l'addome del malcapitato imenottero: l'esemplare che avevo scovato era quindi un emittero.

Le specie appartenenti all'ordine degli Emitteri sono infatti caratterizzate dall'aver un apparato boccale a forma di rostro, sottile nei fitofagi e massiccio nelle specie zoofaghe come quella in questione, che è chiamata *Phymata crassipes*.

La specie appartiene alla famiglia dei *Reduviidae*, che comprende insetti chiamati volgarmente "Cimici Assassine". Qualche specie si nutre di sangue e può veicolare gravi malattie. In genere, però, si nutrono di altri insetti e sono pericolosi solo per le loro prede, a patto di non manipolarli incautamente. La loro strategia di caccia consiste nell'agguato: passano il loro tempo assolutamente immobili sui fiori o nella vegetazione in attesa che qualche insetto passi nel loro raggio d'azione. Questi emitteri hanno solitamente le zampe anteriori molto robuste e adatte a immobilizzare la preda. In alcuni casi, come nel nostro esemplare, il loro percorso evolutivo li ha portati a sviluppare zampe raptatorie simili a quelle delle mantidi.

Ecco quindi la convergenza evolutiva sopracitata: due specie di insetti, appartenenti a due ordini separati, anche piuttosto distanti evolutivamente, hanno sviluppato lo stesso formidabile strumento di caccia, perché avevano entrambi la necessità di catturare le prede in modo efficiente.

Phymata crassipes da occhi inesperti può essere scambiato per una piccola mantide proprio a causa delle sue zampe anteriori: la tibia così robusta, i tarsi arcuati e le spine sono caratteristiche molto simili a quelle delle zampe raptatorie delle piccole mantidi del genere *Ameles*.

Questo non è ovviamente l'unico esempio di arti raptatori esistente in natura: anche specie appartenenti ad altri ordini, come ad esempio, i neurotteri *Mantispa* hanno sviluppato queste zampe particolari. Spero in futuro di riuscire a osservarne e fotografarne qualche esemplare. In quel caso, non mancherò di mostrarvelo su queste pagine. ●

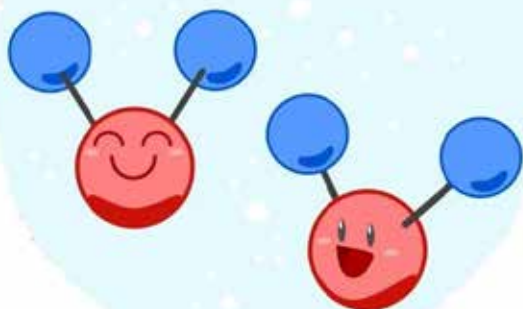
Bibliografia

Chinery M, *Guida degli insetti d'Europa*, FrancoMuzzio Editore, 1998.

Darwin Ch, *L'origine delle specie*, Bollati Boringhieri, 1982.



sorelle scienziette



La rivista *NATURALMENTE Scienza* si avvale della collaborazione di due giovani sorelle, Lucia e Margherita Duca, alias “le Scienziette”. Lucia è ricercatrice in un ente pubblico di ricerca scientifica in Italia mentre Margherita presso un’industria farmaceutica privata in Olanda. Grazie a loro proponiamo una rubrica agile, condotta anche sul filo dell’ironia, dedicata a temi di attualità nel dibattito pubblico sulla scienza. Gli argomenti proposti dalle Scienziette sono ripresi, rivisti e aggiornati da una serie di podcast diffusi in rete. Il contributo delle Scienziette offre un punto di vista documentato e autorevole, presentato con linguaggio colloquiale e accattivante.

In questo numero proponiamo un loro intervento su un oggetto di uso quotidiano.

Le caraffe filtranti: come trasformano l’acqua del rubinetto, fatti e fandonie.

Sicuramente ne avrete viste a casa di conoscenti, nei supermercati o ne possedete una. Le caraffe filtranti hanno avuto un boom di vendite una decina di anni fa, e tuttora ce ne sono di svariate in commercio. Se il motivo per cui ne possedete o vorreste possederne una è modificare il *sapore* dell’acqua del rubinetto, allora ve la passate liscia. Se invece è perché volete aumentare la *qualità* della stessa acqua, magari per prevenire i calcoli renali, allora vi tocca continuare a leggere per cambiare idea.

Innanzitutto, quello che una caraffa filtrante fa è alterare il contenuto di ioni e piccole molecole disciolte nell’acqua. Si tratta principalmente di ioni calcio e magnesio, la cui concentrazione nelle acque è quella che ne definisce la durezza. Per quanto noi siamo decisamente orientate a esprimere qualsiasi concentrazione in termini di moli su litro (come un vero chimico dovrebbe!), dobbiamo accettare la dura realtà che la durezza è espressa in gradi francesi. Il che rende la misura meno intuitiva per chi è abituato a ragionare in termini di unità di misura come la molarità, ma in realtà piuttosto accessibile a chi, a sentir parlare di molarità, viene solo in mente qualcosa tipo il mal di denti.

Un grado francese corrisponde a 10 mg/L di carbonato di calcio (per salvarci la coscienza: $1,0 \cdot 10^{-4}$ M). Fino agli 8 gradi francesi si parla di acque dolci, sopra i 18 di acque dure. Potrebbe essere utile conoscere la durezza della vostra acqua, per esempio, per scegliere quanto detersivo utilizzare per un lavaggio in lavatrice, dato che più la vostra acqua sarà dura, più ne richiederà. Se vi interessasse conoscere i dettagli della vostra acqua di casa, potreste fare riferimento alla società che gestisce i servizi idrici della vostra regione, che generalmente rende disponibili queste informazioni direttamente in bolletta.

Da studi su parametri di acque analizzate prima e dopo il trattamento in caraffa filtrante si è osservato che la durezza dell’acqua cambia di molto, diminuendo a circa 1/6 o 1/7 del valore iniziale. Per esempio, l’acqua proveniente dall’acquedotto di San Miniato è passata, dopo la filtrazione, da una durezza di 25 ad una di 4 gradi francesi. I valori consigliati secondo la normativa vigente si aggirano tra i 15 e i 50 gradi francesi... Non così pochi eh? Beh in realtà ha senso, dato che a noi calcio e magnesio fisiologicamente servono, eccome.

Il motivo per cui le caraffe filtranti sono entrate in commercio è per rispondere alla necessità (se si può chiamarla necessità... forse più un bisogno indotto?) di rendere il sapore dell’acqua più appetibile. È un po’ difficile descrivere l’acqua dal punto di vista del sapore, dato che ne è piuttosto priva, essendo un liquido incolore e inodore. Però, se ci sforziamo un po’, possiamo convenire che il palato riesce a distinguere vari tipi di acque e apprezzare un’acqua più o meno di un’altra. Poi non sappiamo se in gioco ci sia qualche fattore psicologico come la convinzione che l’acqua dura sia responsabile dell’insorgenza di calcoli renali. Il calcolo renale, alla fine, non è altro che ossalato di calcio... Calcio... Mmm sì, a naso

ha senso... ma invece no, la situazione non è così semplice. Non vi è alcuna dimostrazione scientifica che bere l'acqua del rubinetto piuttosto che quella minerale, o bere acqua dura, favorisca la formazione di calcoli renali. Molte volte la formazione di calcoli è causata da fattori di predisposizione individuali o familiari. Non è questa la sede per consigliare cure per prevenire i calcoli renali, ma finora nessuno ha dimostrato un nesso tra bere acqua dura e formazione di calcoli renali. La pagina web della Fondazione Veronesi sui calcoli renali (<https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/alimentazione/fate-bene-i-calcoli-renali>) fornisce informazioni più precise e anche indicazioni sul genere di dieta consigliata per la prevenzione dei calcoli: è consigliata l'assunzione di grandi volumi di acqua ($2 \div 3$ litri al giorno), a normale contenuto di calcio, e a basso contenuto di sodio. Teniamo a mente questo richiamo al sodio, perché tornerà utile più avanti.

Tornando alla caraffa filtrante, diamo un'occhiata alla scienza dietro al filtro che si utilizza. Prima cosa: non fa miracoli. Non è capace di rendere potabile un'acqua che non lo era già prima. Se la vostra acqua da un giorno all'altro sa un po' più di cloro, potrebbe essere perché sono stati effettuati processi di disinfezione straordinari. Se invece ha un colore marronastro, probabilmente è stato effettuato qualche lavoro alle tubature oppure le tubature non stanno messe un gran che bene. Ma l'acqua alla sorgente di distribuzione è controllatissima. Giornalmente ne vengono controllati i parametri così che non sfiorino mai i valori rispetto a quanto previsto dalla normativa. In questo senso, le acque del rubinetto sono molto più sicure delle acque minerali vendute al supermercato, che sono controllate meno e conservate spesso in bottiglie di plastica, contribuendo, tra l'altro, a mettere in circolo un ammontare enorme di materiale inquinante. Rispetto a questo problema, l'uso di un'unica caraffa è certamente preferibile a quello di un grande numero di bottiglie di plastica, ma perché vi serve filtrante?

I tipi di filtri utilizzati possono essere a base di resine a scambio ionico o carbone attivo (o tutte e due). Le resine a scambio ionico, lo dice il nome, scambiano ioni. Non trattengono, scambiano. Lo scambio ionico è un processo chimico-fisico reversibile, in cui uno ione mobile è scambiato tra la fase liquida (acqua) e la fase stazionaria (resina).

Gli ioni sono particelle cariche elettricamente, cationi di carica positiva e anioni di carica negativa. Tipicamente un atomo neutro, cioè con lo stesso numero di elettroni e protoni, passa alla forma di catione quando perde un elettrone. Di conseguenza il bilancio tra elettroni e protoni è in favore di questi ultimi e l'atomo assume carica positiva. L'opposto per gli anioni, che hanno ricevuto uno o più elettroni extra, diventando carichi negativamente. Cationi e anioni generalmente vanno in giro insieme, dato che positivo e negativo si attraggono. Ogni ione di una coppia ha il proprio "controione", cioè lo ione di carica opposta che lo accompagna. Se il catione potesse parlare, invece di dire: "io e il mio partner abitiamo in via resina 52" direbbe "io e il mio controione abitiamo in via resina 52".

Le resine a scambio ionico sono costituite da un controione di carica opposta a quello che si vuole scambiare. Quella che si definisce "fase stazionaria" della resina, che è fissa, è la componente solida e sarà negativa se vogliamo catturare ioni calcio Ca^{2+} . Ma la resina è commercializzata come neutra, perché la fase stazionaria negativa deve essere bilanciata elettricamente da uno ione positivo, mettiamo sodio Na^+ . Quello che succede poi è una vera e propria competizione, in cui sodio e calcio combattono per interagire con la fase stazionaria, entrambi attratti dalla sua carica negativa. Lo ione più affine alla resina, oppure presente in maggiore concentrazione, avrà la meglio e sarà catturato dalla resina, "spodestando" l'altro ione competitore dalla sua posizione originaria. I posti sono limitati, e non si riceve nulla senza dare niente in cambio. Quindi, di fatto, gli ioni che vengono rimossi dall'acqua saranno sostituiti da altri ioni, in numero e carica tale da bilanciare lo spostamento, mantenendo la neutralità delle cariche, come ci ricorderebbe qualsiasi manuale introduttivo di stechiometria.

Quello dello scambio ionico non è un concetto strampalato, è infatti alquanto comune in chimica analitica ed è lo stesso principio che sta alla base della quantificazione di cationi e anioni nell'analisi delle acque. Inoltre, lo scambio ionico può essere utilizzato come metodo di purificazione di composti organici ionizzabili. Stiamo parlando in particolare di cromatografia a scambio ionico, che utilizza proprio il principio di affinità ionica per separare un composto da un altro e/o quantificarlo. Questo processo viene effettuato facendo passare una soluzione (che si deve purificare o quantificare) attraverso una fase

stazionaria, solida, generalmente una colonna di resina impaccata. Durante il percorso della soluzione attraverso la resina, il composto di interesse instaurerà interazioni ioniche con il controione della resina, competendo con altri ioni. Così lo ione più affine alla resina sarà in grado di essere ritenuto più a lungo nella colonna, dando il tempo di far fluire via impurezze o sostanze non interessanti. Ci sono anche altri tipi di cromatografia, basati su tipi di affinità diversi da quella ionica, che vengono utilizzati di routine nei laboratori chimici. Ma non divaghiamo.

Torniamo alla caraffa filtrante e alla resina a scambio ionico. Queste resine sono preparate in modo che scambino ioni calcio e magnesio (quelli della durezza, quelli che non volevamo) principalmente con ioni sodio e potassio. Quindi, se siete consapevoli che utilizzando la caraffa filtrante state riducendo la sua durezza, credo dobbiate essere altrettanto consapevoli che state aumentando il suo contenuto in altri ioni. Soprattutto il sodio, che come abbiamo visto all'inizio è considerato un fattore di rischio per lo sviluppo di calcoli renali. Ad esempio un'acqua X da non trattata a trattata va da un contenuto di 85 a 375 mg/L di sodio dopo filtrazione, superando il parametro consigliato di 200 mg/L.

Le resine non lavorano, ovviamente, solo per lo scambio di cationi, ma possono anche scambiare anioni. Quindi se avete una resina con fase stazionaria positiva, potreste trattare la vostra acqua per eliminare lo ione nitrato sostituendolo con lo ione cloruro.

L'altro filtro che abbiamo menzionato è il filtro a carbone attivo, un materiale molto poroso, che ha una grande capacità assorbente. Essendo poroso, infatti, la superficie per unità di volume disponibile per interagire con piccole molecole o ioni è molto elevata rispetto alle dimensioni del filtro. Per sua natura (alla fine si tratta di carbonio) il filtro a carbone attivo è particolarmente adatto a interagire con piccole molecole organiche. È specialmente indicato per rimuovere inquinanti organici e inorganici, in particolare triometani, tipici sottoprodotti (non propriamente innocui) di disinfezione delle acque con vari agenti clorurati. Il carbone attivo ha prestazioni molto interessanti, perché non scambia, ma trattiene. Il problema è che si arriva a saturazione del filtro piuttosto rapidamente, inoltre il carbone attivo è una buona matrice per la proliferazione di batteri. Per cui quando il carbone attivo è utilizzato "a monte" del sistema, prima che l'acqua arrivi alle vostre case, è comunque necessaria un'ulteriore disinfezione prima dell'utilizzo. Questo della proliferazione batterica è un rischio in cui potreste incorrere anche nella vostra caraffa. Per questo motivo, e per il fatto che i pori del materiale non hanno capienza infinita, è necessario sostituire il filtro della caraffa frequentemente. Anche la resina a scambio ionico ad un certo punto arriva a saturazione e non fa più nulla, se non un po' di disordinato movimento tra ioni di qui e ioni di là. La frequenza di sostituzione del filtro dipende dalle caratteristiche della vostra acqua e da quanta ne bevete, pertanto è un po' difficile da stimare in maniera univoca.

Per ricapitolare, in linea di massima la modificazione della durezza delle acque tramite caraffa filtrante è un'operazione piuttosto inutile, che spesso peggiora la qualità dell'acqua, con alcuni parametri che possono oltrepassare i valori limite. Se volete conoscere in modo dettagliato questi parametri, essi sono definiti nel decreto legislativo 31 del 2001. Qui non vogliamo suggerire se sia giusto o no utilizzare la caraffa, perché non sta a noi. Un'opinione ce l'abbiamo, come avrete intuito, ma la teniamo per la nostra tavola. Vogliamo solo rendere i consumatori più consapevoli e fornire gli strumenti per scegliere che cosa è bene per la salute e per il portafoglio. Tuttavia... se l'acqua del rubinetto vi piace così com'è, non avete certo bisogno di queste caraffe. ●



Katalin Karikó
Nonostante tutto.
La mia vita nella scienza
Bollati Boringhieri, 2024



A Katalin Karikó, biochimica ungherese, è stato conferito il premio Nobel in Fisiologia e Medicina nel 2023 con il collega Drew Weissman, per i loro studi sull' mRNA, fondamentali per lo sviluppo del vaccino contro il Covid 19 in tempi del tutto inattesi.

“La prima cosa che ho pensato? Caspita, 10 anni fa mi hanno licenziato e adesso mi danno il Nobel! Quando vieni buttato fuori, è per decisione degli altri. Quello che fai dopo sta a te. In America mi avevano costretto ad andare in pensione, io invece sono andata in Germania a lavorare per BioNTech.”¹.

Il titolo dell'edizione italiana dell'autobiografia non poteva essere più azzeccato: una vita nonostante tutto, nonostante fosse immigrata, nonostante fosse donna, nonostante la poca fiducia nell'obiettivo della sua ricerca. È una donna che non ha mollato mai.

Karikó racconta la storia della sua vita con scrittura disinvolta e gradevole intrecciando vicende personali, ricerca e riflessioni su fatti e persone; parla di un'infanzia felice anche se poverissima, nell'Ungheria comunista, dove le è stato possibile seguire gli studi fino alla laurea grazie al suo impegno tenace e ai risultati brillanti. “Mio padre era simile a me, non si lamentava mai. I miei hanno sempre lavorato duramente.”

Prima ancora di terminare gli studi universitari, a Szeged in Ungheria, incominciano le sue ricerche, dapprima sui lipidi, poi sui virus e proseguono sull'RNA, poco studiato perché “è instabile, dà troppi grattacapi e non ci si può lavorare” fino al 1985 quando il suo laboratorio non viene più finanziato dall'azienda farmaceutica che lo sosteneva. È così costretta ad emigrare negli Stati Uniti con il marito e la figlia Susan di due anni.

“Ogni tanto la gente mi chiede di cosa ha bisogno una donna per essere una madre e insieme una scienziata di successo. La risposta è semplice, ovvia: ha bisogno di un'assistenza all'infanzia di elevata qualità e a prezzi accessibili, come quella di cui ho usufruito in Ungheria”. Invece in Pennsylvania tutto era costoso e lo stipendio modesto.

I rapporti con i colleghi e con i superiori non sono facili, le sue ricerche sull'RNA messaggero non apprezzate né finanziate, fino all'incontro casuale nel 1997 con Drew Weissman che sta lavorando allo sviluppo di vaccini contro le malattie infettive.

“Io e Drew eravamo molto diversi, ma ognuno di noi aveva esattamente le conoscenze e le competenze di cui l'altro aveva bisogno. Io ero una scienziata dell'RNA che non si intendeva granché di immunologia. Lui un immunologo che non aveva dimestichezza con l'RNA. La nostra connessione avrebbe messo in moto una cascata di eventi destinati a cambiare... beh, tutto”, fino al Nobel. Ma anche durante questa collaborazione così proficua c'è un inciampo, perché i risultati delle loro ricerche vengono ignorati dalla comunità scientifica e i finanziamenti non arrivano. “Eravamo sull'orlo di una straordinaria scoperta, e Sean (il presidente del dipartimento) di cosa mi parlava? Di dollari per metratura netta” perché l'estensione del laboratorio era proporzionata all'ammontare dei finanziamenti che un ricercatore riusciva ad ottenere. E quando Karikó, una mattina, trova le sue cose negli scatoloni, decide di andarsene di nuovo, accettando l'offerta di BioNTech, a Magonza, per realizzare i vaccini antiinfluenzali con mRNA. Questa volta si trasferisce da sola, facendo la spola fra Europa e Stati Uniti, incappando anche nei mesi del lockdown.

Produrre in tempi brevissimi i vaccini contro il COVID è stato possibile solo grazie ai tanti anni di lavoro già svolto, e questi sono solo l'inizio del potenziale terapeutico dell'RNA messaggero, altre procedure sono allo studio per curare malattie infettive e il cancro.

Così come l'mRNA esiste temporaneamente per veicolare un messaggio, Karikó spera che questo suo libro ne veicoli due essenziali sulla ricerca scientifica: la speranza che possa migliorare la qualità della valutazione della ricerca e che l'influenza esercitata dal denaro su di essa si faccia più trasparente.

È commovente la dedica iniziale agli insegnanti, a quelli che hanno avuto cura della sua formazione e a tutti gli altri, perché il loro compito è seminare e un biologo, che come lei ama la terra e le piante, conosce il valore dei semi. La conclusione è un accorato invito ai ricercatori, perché credano in se stessi perseguendo ad ogni costo i propri obiettivi, con passione e tenacia, nonostante tutto.

1. dall'intervista a “Che tempo che fa”

<https://www.youtube.com/watch?v=G85Ic6U32-4>

Un giardino da abitare

The garden/outdoors is an educational environment to be frequented every day, as the classroom, like a place to live to build bonds, attitudes, habits and knowledge. The activities exemplified here concern orientation in space, the discovery of living beings in their environment, games with light and shadows.

Key words: *Garden, Orientation, Living, Environment.*

Anna Aiolfi

Se pensiamo al fuori come ambiente educativo dobbiamo uscire dalle aule spesso, non solo in giornate di bel tempo e non in modo occasionale. Evitando di proporre fuori quello che si fa dentro è possibile usare il fuori scuola (giardino e territorio più in generale) come spazio cognitivo dalle molteplici letture. Sappiamo che l'apprendistato scientifico dei bambini, che parte dall'esperienza percettiva, comincia molto presto. Ma come aiutare i bambini a organizzare le loro idee ingenue, nate dal fare, in grezze *generalizzazioni*? Come accompagnare la naturale curiosità verso ciò che accade evitando la lezioncina a beneficio di un *approccio indagatore e di ricerca*? Quale tipo di *ascolto e intervento adulto* serve per sostenere lo sguardo di meraviglia verso le cose del mondo? Quali *atteggiamenti e abitudini* la scuola deve prediligere e coltivare? Mi piace pensare al giardino come un luogo da abitare dove il bambino oltre al gioco può trovare diversi e svariati modi per sentirsi parte del sistema. Per sentire questa appartenenza bisogna stringere dei legami che vanno ben oltre alle consuete raccolte di materiali o alle osservazioni primaverili di gemme e fiori, peraltro importantissime esperienze da fare. Bisogna per prima cosa considerare il giardino come un prolungamento dell'aula accessibile sempre, imparando a sfruttare non solo le occasioni e le belle giornate, ma il giardino stesso come un magazzino cognitivo. Questo significa essere pronti ad infilare stivaletti e giubbetti e attrezzarsi di strumenti per cercare ciò che serve anche con autonome ricerche. Significa catturare il vento con dei sacchetti, la pioggia con dei secchielli, i raggi del sole con gli



specchi o più semplicemente condividere con gli altri il luogo preferito, il nascondiglio, scoprendo confini, passaggi e forme, pericoli e possibilità, superfici morbide, dislivelli, rugosità. Significa anche percorrere distanze ragionando sul proprio punto di vista, osservare le forme delle cose, i colori e le sfumature, accorgersi del fruscio e degli odori, delle zone di luce e di ombra. Significa tenere in mano i piccoli viventi e guardare tra i fili dell'erba o sotto i sassi, alzare gli occhi al cielo e moltissimo altro ancora che si manifesta a noi in un continuo cambiamento. Questo non vuol dire stare fuori sempre, ma quando serve in un giusto equilibrio tra il dentro e il fuori della scuola, dove il momento del fare e del pensare non è relegato a uno solo di questi luoghi. Così può capitare che qualcosa osservato o sperimentato fuori diventi contesto di lavoro una volta entrati in classe, oppure che discutendo un fatto in classe sia importante uscire per cercare, approfondire o ampliare con esperienze non proponibili in aula. In questo modo si costruisce e si fortifica il legame del bambino con il giardino e più in generale con l'ambiente di vita, che generosamente fornisce alla didattica ampi e ricchi orizzonti d'apprendimento: alla scuola e alle insegnanti il compito di segnare la rotta. In questo contributo racconto alcune modalità di lavoro che spesso proponevo durante l'anno.

Dove sono?

Fa parte della prassi didattica predisporre esplorazioni dell'ambiente scolastico per costruire strumenti per l'orientamento consapevole necessario per muoversi in sicurezza. Con intenzioni simili ho sempre proposto ai bambini esperienze di orientamento consapevole nel giardino, partendo dalla sua complessità fino ad arrivare a una rielaborazione cartografica o tridimensionale del luogo. Per prima cosa chiedevo ai bambini di osservare e rappresentare il giardino dal proprio punto di vista (cosa vedevano davanti, cosa di fianco e dietro), chiedevo anche di individuare gli elementi presenti come alberi, panchine, siepi, giochi e altro raccontando il perché erano importanti per loro. Il confronto dei diversi punti di vista evidenziava gli elementi condivisi da tutti,

quelli visti da pochi o da un solo bambino. Da una visione egocentrica, discutendo e mediando i pensieri di tutti, nasceva uno sguardo comune, costruito da più menti, dove i punti di riferimento erano condivisi. Il cancello che stava vicino all'albero sempreverde, come la panchina di legno davanti alla siepe erano "pezzetti" del giardino di scuola in cui tutti si riconoscevano.

Il secondo passo impegnava i bambini ad esplorazioni mirate e ripetute che prediligevano a seconda dei casi modi diversi di guardare, intervenire e rielaborare lo stesso spazio. Una camminata lungo il confine per misurare in qualche modo la sua lunghezza, uno sguardo all'orizzonte girando su se stessi per elencare le cose che si vedevano, una raccolta di materiale sotto un albero che ne raccontava la specificità, gincane e percorsi esplorativi con itinerari che includevano o escludevano a seconda dei casi alcuni degli elementi presenti, la ricerca di muschio come la presenza d'acqua, una osservazione mirata con tubi di cartone, scatti fotografici per realizzare ricostruzioni, voli immaginari per guardare il giardino dall'alto, cacce al tesoro seguendo una mappa sono alcune delle tante possibili attività che generavano poi discussioni e rielaborazioni originali. Ad esempio, la mappa degli alberi e del muschio, quella sonora, quella delle zone di colore, quella aerea o quella realizzata a pezzi dove il giardino veniva ricostruito come un puzzle. Altre volte le nostre attività all'aperto si completavano con la realizzazione di plastici materici fatti con materiale na-





turale (nella terra veniva seminata e mantenuta l'erba), plastici fotografici con la ricostruzione in scala dei luoghi con piccoli avatar di sé stessi mossi dai bambini e anche plastici statistici dove veniva inserito il proprio nome per capire il luogo del giardino più frequentato del giorno, una volta rientrati.

Accanto a queste esplorazioni concordate e mediate dall'adulto, trovavano spazio quelle personali e autonome indispensabili per dare modo ai bambini di agire seguendo i personali interessi.

Sguardi a terra e tra i fili d'erba

Non servono cose o situazioni particolari per fare scienze all'aperto, ma sensibilità, attenzioni e sguardi indagatori. Alcune volte il "tema" prendeva forma dalle richieste e dalle esigenze che nascevano dal fare stesso dei bambini: scavi, impasti di terra e erba, pozzanghere, raccolte

spontanee. Altre prendevano vita dal caso come un imprevisto o un fatto che richiamava la giusta attenzione e sul quale valeva la pena interrogarsi. Insieme si guardava quello che succedeva, si cercavano le cause, le variabili, si trovavano soddisfacenti risultati, fino a raccontarne la storia. L'idea era di riflettere su quello che si stava facendo accettando il certo e l'incerto, rendendosi conto che il succedere non sempre si poteva controllare. Fatti "banali" sui quali imparare a porsi domande: come ha fatto a formarsi il ghiaccio sul vialetto, o la pappetta di terra? Come fa il muschio ad attaccarsi alla corteccia? Una gemma a sapere quando è il momento di sbocciare? Un lombrico a scavare senza zampe? Quale storia racconta la pigna o il pezzo di corteccia trovato a terra?

Mi sono resa conto negli anni che un approccio di questo tipo potenzia nei bambini la meraviglia e la curiosità verso le cose e, senza ricorrere alle



storielle sul rispetto e sull'educazione ambientale, i bambini maturavano nel tempo il giusto modo di stare al mondo. Non serviva spiegare, dire, mostrare. I fatti, se ben interrogati, diventavano essi stessi generatori di idee di pensieri e ragionamenti. Così la bava della chiocciola che scivola sulla mano non genera disgusto, perché come diceva Claudia *“si capisce che serve per scivolare meglio”*. Mentre l'andare dei semi del soffione *“è importante perché non serve seminare, si spostano con il vento quando viene e poi vanno a terra perché trovano un posto bellissimo dove fare la piantina”* (Giacomo).

Tutte le esplorazioni portavano a interessanti discussioni.

Ins: *Provate a raccontare cosa avete capito scavando nel giardino.*

Fra: *Le radici tengono vicina la terra, se le toglie scende tutto, ogni piantina ha la sua radice che va nella terra....*

Ann: *La terra è morbida si sbriciola, dentro c'erano le formiche, anche un lombrico che stava nella terra, ci sono pezzi di foglia marcia, e anche dei sassi duri.*

Ins: *Cosa immaginate succeda nella zolla del giardino?*

Val: *Per me ci sono tanti buchi e gallerie perché gli animali devono avere delle strade per andare su e giù, tipo delle volte vedi le formiche che entrano nei buchi e poi escono da un'altra parte, anche le lucertole spariscono.*

Cam: *Nel prato ci stanno tantissimi fili di erba, tutti vicini, vicini, che neanche vedi che stanno divisi, sembra tutto uguale, ma se vai vicino a guardare vedi che i fili sono diversi alcuni sono lunghetti altri hanno le foglioline a cuore e poi ci stanno quelle a forma di spighetta e poi a zig zag...*

In questo continuo gioco che dal particolare portava alla generalizzazione e viceversa, confronti, differenze, similitudini diventano a poco a poco chiavi importanti per costruire primi ordinamenti.



Sguardi verso il cielo

Stando in giardino capitava spesso di alzare gli occhi verso il cielo, alcune volte sdraiati a terra si cercava di capire come funzionavano le nuvole o si giocava con i fili di luce che superavano la chioma degli alberi. Altre volte girando su sé stessi cercavamo la linea dell'orizzonte e, una volta individuata, la seguivamo con il dito disegnando nell'aria il confine tra le cose del cielo e della terra. La cosa buffa è che la situazione poteva variare; bastava salire sopra una sedia o sedersi a terra per rifare il gioco da un altro punto di vista. Ai bambini piaceva fare un binocolo con la mano, come anche guardare la linea attraverso una cornice di cartone, per poi elencare in sequenza tutte le cose incorniciate.

Per rappresentare l'orizzonte usavamo fare degli scatti fotografici mettendoci d'accordo su quale pezzo considerare per evitare doppioni. Questi scatti servivano poi per ricostruire l'orizzonte decidendo di volta in volta come mettere in sequenza le foto. La varietà degli orizzonti ricostruiti con gli scatti fotografici era incredibile, dipende-



va da vari fattori come il momento della giornata, il tempo atmosferico e dal periodo stagionale.

Molte delle giornate erano dedicate a giocare con la luce del sole. Famose erano le nostre battaglie di luce dove i bambini, usando dei piccoli specchi tenuti in mano, dirottavano la luce del sole contro il muretto, incontrando e inglobando il fascio di luce dei compagni. Per intercettare e catturare i raggi di luce usavamo anche stoffe con trame diverse, tulle, pizzi, scolapasta, bicchierini di carta bucati, vetrini colorati, carte di caramelle, creando a terra ombre di tutti i tipi: decise o sfumate, grigioline, colorate, bucherellate, allungate, sottili. Altre volte muovendo e inclinando grandi teli si formavano ombre che deformavamo a nostro piacere creando spazi dalle più strane forme a cui spesso davamo nome.

Giorni e giorni per sperimentare per provare e riprovare, per trovare soluzioni ingegneristiche, fino a costruire in giardino macchine cattura luce e macchine per fabbricare l'ombra.

In modo grezzo i bambini iniziavano a comprendere alcune proprietà della luce. Tenendo presen-

te le interazioni con la materia e i materiali, sperimentavano che la luce del sole è calda in modo diverso durante il passare della giornata, che ha una direzione, che se ne può intercettare il passaggio, che può essere più o meno abbagliante, offuscata, potente, tenue...

Le nostre strane domande e le nostre lunghe conversazioni sulla luce e sull'ombra inevitabilmente incrociavano altri fatti di vita.

Ins: *Secondo voi quando c'è luce c'è sempre ombra?*

Gia: *Ci vuole un sole forte per fare una ombra vera... nera da ombra, ci sono ombre diverse.*

Val: *Sì, ma anche se stai a scuola si vedono le ombre del corpo perché sopra ci stanno le luci e quando c'è un po' di luce c'è un po' di ombra...*

Ale: *L'ombra si vede anche di notte con la luna io l'ho vista... perché anche la luna fa la luce altrimenti alla sera non si vede niente.*

Sar: *Basta un poco di luce anche la candela va bene e forse anche lei è capace di fare l'ombra alla mano se la metti vicino...*

Queste attività generavano anche discorsi sul tempo e sul suo inevitabile scorrere. Succedeva che dopo aver tracciato la sagoma dell'ombra del compagno a terra con il gesso, i bambini si ac-



corgevano del suo lento spostarsi. Anche l'ombra del tronco dell'albero segnata a terra con lo spago alle 9 del mattino non corrispondeva mai all'ombra delle 10 delle 11 alle 12 e così via. L'ombra non solo si spostava, ma cambiava colore, si affievoliva e si deformava, perché come diceva Pietro *"l'ombra è una cosa che cambia sempre, dopo pranzo quella del mio corpo è bella nera e poi quando si va a casa e ti metti allo stesso posto si allunga tantissimo, è una cosa stranissima che il sole fa come un gioco"*

Questo racconto raccoglie una minima parte di quello che ho sperimentato negli anni usando lo spazio esterno della scuola nella didattica di tutti i giorni: percorsi scientifici (e non solo) interessanti sui viventi, sulla materia, sullo spazio, sul tempo e sulle fenomenologie che si intrecciavano tra loro e si mantenevano vivi negli anni. Queste esperienze dimostrano come la complessità della vita diventa leggibile ai più piccoli se accettiamo

le loro chiavi di lettura e se districhiamo i loro pensieri. L'insegnante diventa un "facilitatore di pensiero": senza fare lezione, evitando noia e formalismi, chiede ai bambini di "partecipare", di discutere, di pensare insieme e da soli, sollecita l'interesse con domande, provoca ragionamenti sui fatti chiedendo aiuto all'immaginazione. Il mondo micro svela inaspettate sorprese, l'invisibile diventa visibile, le cose che sembrano difficili diventano accessibili, insieme si costruiscono incredibili storie di vita e di fatti. Insieme si capisce quello che si può capire, preferendo alla frenesia didattica il tempo lento e l'attesa indispensabile per costruire ragionamenti e pensieri. Mi piace pensare al bambino come ad un "apprendista" di vita che a scuola sperimenta giorno dopo giorno usando in modo sempre più affinato strumenti (competenze) e strategie di pensiero (atteggiamenti, abilità). Mi piace pensare alla scuola come luogo di "pratiche di discorso" (C. Pontecorvo) che rendono possibile il passaggio dall'argomentare proprio della vita al ragionare specifico dei diversi contesti disciplinari. Mi piace ricordare le parole di Howard Gardner che invitano ad "educare al comprendere" cioè a favorire un tipo di educazione "atto a produrre forme di comprensione generative, profonde e vere". Possiamo quindi dire che fare scienze significa abituare il bambino a guardare, parlare e discutere insieme in una "tensione cognitiva" continua

che fortifica le menti, nella certezza che nulla è completamente conosciuto e soprattutto nella consapevolezza che ciò che è certo oggi sarà messo in discussione domani, in una continua sistemazione delle conoscenze. ●

Indicazioni bibliografiche

Aiolfi A, Quaglietta M.C., *Primi passi nelle scienze*, I quaderni della Scuola dell'infanzia, Firenze, Giunti, 2012.

Arcà M, *La cultura scientifica di base*, Milano, F. Angeli, 1993.

Furlan D, *Piccoli Vegetali*, Roma, Carocci Editore, 2004.

Furlan D, *Piccoli Animali*, Roma, Carocci Editore, 2005.

Gardner H, *Educare al comprendere*, Milano, Feltrinelli, 1993.

Lanciano N, *Strumenti per il giardino del cielo*, MCE, Edizioni Junior, 2002.

Pontecorvo C., *Discutendo si impara*, Roma, Carocci Editore, 1987.

Volzing PL, *La capacità argomentativa dei bambini*, Firenze, Giunti, 1985.

Project Zero, Reggio Children, *Rendere visibile l'apprendimento. Bambini che apprendono individualmente e in gruppo*, 2001.

Zecca L, *Didattica laboratoriale e formazione. Bambini e insegnanti in ricerca*, Milano, Franco Angeli, 2016.



Imparare nell'Orto Sinergico: esperienze in una scuola primaria multiculturale alla periferia di Torino

Maria Pezzia

The Synergistic Gardening approach focuses not only on growing vegetables, but also on enhancing soil fertility and promoting biodiversity. It underscores the ecosystem autonomy, fostered by the gardener through thoughtful planning and sustainable resource management. In Primary Schools, the Synergistic Garden provides a dynamic environment for science education, grounded in deep ecology and systemic epistemology, where children can engage in hands-on learning while developing an inclusive community

Keywords: *Science education, Ecology, Permaculture, Synergistic gardening, community, Outdoor education.*

Orti a scuola ieri, oggi e domani

Gli orti scolastici non sono certo una proposta innovativa: hanno anzi alle spalle una lunga tradizione, strettamente intrecciata alla storia della pedagogia attiva. Il contatto con la natura e l'apprendimento attraverso l'esperienza diretta sono stati infatti tra i cardini di approcci pedagogici anche molto diversi, accomunati però dall'intento di mettere "il bambino al centro". Già nei Kindergarten di Froebel i bambini coltivavano non solo un grande orto comune, ma anche dei piccoli appezzamenti personali, sperimentando sia la responsabilità individuale sia il mutuo appoggio. Da allora in poi, gli orti hanno seguito le sorti dell'"educazione nuova" in tutto il mondo. In Italia, la diffusione degli orti scolastici inizia negli ultimi anni dell'800 a partire da un contesto rurale, grazie alla reinterpretazione dei giardini Froebeliani operata dalle sorelle Agazzi, il cui metodo avrà poi un'influenza determinante sull'impostazione delle "scuole materne"¹ del nostro paese. Tuttavia, è forse nelle scuole attive delle grandi città industriali che l'orto assume il suo ruolo più importante per i bambini, poiché supplisce alla mancanza di altre occasioni di contatto con la natura. Nei quartieri popolari di Londra, a cavallo tra '800 e '900, Lucy Latter² mise l'orto al centro di tutto il curricolo-



1. Il nome "scuola materna" coniato dalle Agazzi è rimasto in uso fino alla riforma Moratti del 2003.

2. Lucy Latter, *School Gardening for Little Children*

(1906), è il primo libro esistente sull'argomento. L'autrice contribuì alla riorganizzazione dei curricoli scolastici in Inghilterra e in India. In Italia, influenzò il pensiero di Maria Montessori.

lo scolastico, riconoscendone le potenzialità per lo sviluppo dell'educazione "fisica, intellettuale e morale del fanciullo". Lo stesso spirito si ritrova, pochi anni più tardi, alla periferia di Milano, dove Giuseppina Pizzigoni pose al cuore della sua Scuola Rinnovata gli orti, gli apiari, il pollaio. Analogamente, nella Firenze devastata dalla Seconda Guerra Mondiale, i bambini "in pericolo sociale" del quartiere Santa Croce autogestivano, tra altre attività di lavoro pratico, la coltivazione dell'orto, all'interno dell'esperienza di rinascita dell'educazione attiva, democratica e cooperativa rappresentata da Scuola-Città Pestalozzi.

La più nota esponente italiana dell'innovazione pedagogica, Maria Montessori, si occupò molto di educazione in natura, anche se poco dello specifico contesto dell'orto; eppure il contributo del suo pensiero è, a mio parere, particolarmente significativo per l'argomento che qui ci interessa. Negli anni passati in India (dal '39 al '46), fondò scuole interculturali (per bambini europei e locali) in cui le esplorazioni e sperimentazioni in natura avevano un ruolo centrale. In quel contesto elaborò l'approccio pedagogico dell'Educazione Cosmica, integrando una pionieristica visione ecologica, centrata sull'osservazione scientifica della natura, con elementi della spiritualità indiana. In tale approccio converge l'educazione alle scienze umane e naturali, orientate dal fine ultimo dell'educazione alla pace. Nella visione di Montessori (1947), è fondamentale aiutare il bambino

a formarsi una consapevolezza del "proprio posto nell'universo", non solo per la sua formazione etica e il suo sviluppo emotivo, ma anche per il suo sviluppo intellettuale: è infatti proprio il collegamento tra le parti e il tutto (il cosmo come macro-sistema) che mantiene vivo il naturale interesse del bambino per la ricerca scientifica o storica. L'interesse tende invece a venire meno quando la scuola si ostina a presentare una quantità di nozioni scollegate tra loro.

Negli ultimi decenni la crescente consapevolezza ecologica e, più di recente, il rinnovato interesse per l'outdoor education, sono stati fondamentali per permettere alla tradizione degli orti scolastici di sopravvivere e diffondersi. A livello internazionale, un'esperienza particolarmente interessante, soprattutto per i suoi fondamenti teorici, è quella del Center for Ecoliteracy di Berkeley, creato nel 1995 per diffondere l'ecologia e il pensiero sistemico nell'educazione primaria e secondaria. Non a caso, il Center for Ecoliteracy pone gli orti scolastici al centro del suo programma, collegandoli anche alla mensa scolastica³. Tra i fondatori vi è il fisico e teorico dei sistemi Fritjof Capra. Il Pensiero Sistemico, afferma l'autore, prende atto delle trasformazioni avviate nella fisica e nelle scienze naturali nel corso del ventesimo secolo, la cui portata ha reso necessario sviluppare un nuovo paradigma: superando la precedente visione meccanicista e riduzionista, la scienza contemporanea indaga la complessità e le strutture delle relazioni. In biologia, l'idea di lotta per la vita e per il dominio (di un individuo su un altro, di una specie, dell'uomo sulla natura) non è più il principio fondamentale: senza voler negare l'esistenza di spinte competitive, si è messo in luce il ruolo determinante di cooperazione e interdipendenza nell'evoluzione e nell'organizzazione della vita. La metafora della rete appare oggi come più adeguata a descrivere le relazio-



3. Si veda Capra F, *Ecoalfabeto, l'orto dei bambini*, Viterbo, Stampa Alternativa 2005e il sito del Centro <https://www.ecoliteracy.org/>. Per la sua

esposizione del pensiero sistemico faccio invece riferimento a Capra F, *La rete della Vita*, Milano, Feltrinelli, 1996

ni tra i viventi, rispetto a quella della piramide gerarchica. Secondo la prospettiva di Capra l'attuale concezione dell'ecologia profonda, che trova il suo fondamento scientifico nel pensiero sistemico, ha molto in comune con la saggezza antica appartenuta alla nostra specie a partire dalla preistoria, di cui si trovano testimonianze, ad esempio, nella visione del rapporto uomo-natura dei nativi americani, o nelle tradizioni mistiche orientali e occidentali (nelle quali, peraltro, gli orti monastici hanno avuto un ruolo "formativo" non indifferente, sia per lo studio delle scienze naturali, sia come luoghi di connessione con il divino tramite la meditazione attiva e il contatto con la natura⁴. Entrambe le visioni, saggezza antica ed ecologia contemporanea, sono centrate sulla consapevolezza della nostra appartenenza alla "rete della vita". Questa consapevolezza dalle millenarie radici è anche uno dei valori più urgenti da coltivare oggi nella formazione delle nuove generazioni: senza di essa non è possibile pensare di invertire la rotta insostenibile che la nostra specie sta percorrendo, ed è quindi la chiave di volta per poter anche solo immaginare un futuro.

Un'analoga visione dell'ecologia profonda si è sviluppata, negli ultimi decenni, anche a partire da un percorso storico-culturale opposto rispetto a quello degli scienziati occidentali come Fritjof Capra. Mi riferisco alla prospettiva dei movimenti di resistenza contadina e indigena, che si oppongono alla predazione delle risorse e dei territori da parte del capitalismo globalizzato⁵. Tale visione, fondata sull'antica coscienza dell'interdipendenza dei viventi, e resa dinamica dalla ricerca di un'integrazione, critica e cosciente, tra saperi tradizionali indigeni e conoscenza scientifica, mi sembra particolarmente esplicita nella pedagogia delle scuole autonome in Chiapas (Método Inductivo Intercultural). In queste espe-

rienze l'orto⁶ è al centro della comunità e fulcro delle attività didattiche interdisciplinari, ponendosi in opposizione, come modello economico quanto culturale, alla monocultura estensiva di stampo coloniale, e ai danni sociali ed ambientali che questa porta con sé (Sartorello, 2021).

L'orto nelle Indicazioni Nazionali per il Curricolo

Tornando all'attualità della scuola italiana, sembra che questa abbia assorbito, almeno in teoria, tanto la tradizione attivistica quanto la contemporanea consapevolezza ecologica. In questo senso la lettura delle attuali Indicazioni Nazionali per il Curricolo del Primo Ciclo è confortante. L'orto, in particolare, è esplicitamente preso in considerazione nel documento, come luogo in cui attuare alcuni principi fondamentali del curricolo di scienze: un approccio attivo ed esperienziale all'educazione scientifica, basato sull'osservazione e la sperimentazione sul campo; il primo contatto con il concetto di ecosistema, ovvero il "riconoscere, attraverso l'esperienza di coltivazioni, allevamenti, ecc. che la vita di ogni organismo è in relazione con altre e differenti forme di vita". L'esperienza dell'orto è raccomandata inoltre, nello specifico, per l'osservazione di "momenti significativi della vita di piante e animali". Tra gli obiettivi del curricolo di scienze troviamo poi il riferimento alla conoscenza della struttura del suolo, al ruolo dell'acqua nell'ambiente, all'osservazione del movimento dei corpi celesti in relazione alla stagionalità. Qui il riferimento alla pratica dell'orto non è esplicito, ma è forse superfluo sottolineare come esso offra continue occasioni di sperimentazione anche in questi ambiti. Riguardo alla risorsa-suolo, nel coltivare ci poniamo nella condizione non solo di osservarlo, ma anche di capire quali pratiche lo arricchiscono o esauriscono. Altrettanto si può dire dell'uso

4. Si veda Capra F, *Ecoalfabeto*, cit.

5. Shiva V, *Il bene comune della Terra*, Milano, Feltrinelli, 2005

6. La tradizionale *milpa* mesoamericana prevede la coltivazione consociata di piante complementari sia dal punto di vista nutrizionale che ambien-

tale; essa ha molto in comune con il metodo di coltivazione dell'Orto Sinergico, esposto in un prossimo paragrafo.

responsabile dell'acqua come risorsa per la coltivazione (specialmente nell'approccio permaculturale esposto più avanti). Inoltre, nel momento in cui scegliamo la posizione dell'orto nel cortile della scuola, oppure, nella progettazione delle aiuole, ci chiediamo dove collocare le piante "da ombra o da sole", stiamo facendo un lavoro di astronomia di grande complessità (collegato anche al lavoro di orientamento previsto per geografia): in quali ore del giorno il sole illumina questo spazio? E in quali ore lo illuminerà nelle stagioni a venire? Queste riflessioni sono particolarmente complesse nei nostri orti urbani, circondati da edifici (ad esempio, una zona del cortile è illuminata a settembre, ma... sorpresa! Smette di esserlo inverno, perché il sole è troppo basso per superare il muro della scuola. Quando lo vedremo di nuovo? E poi, perché questo accade?). Per quanto riguarda gli obiettivi relativi all'educazione alimentare, l'orto può assumere un grande valore nella promozione di scelte alimentari più varie, salutari e consapevoli: i bambini sono sicuramente più bendisposti verso l'assaggio di verdure (biologiche, di stagione e a chilometro zero) di cui conoscono "vita morte e miracoli", e le portano a casa con orgoglio, coinvolgendo i familiari. Infine, ultimo ma non meno importante, le Indicazioni (nel curriculum di scienze, in continuità con le competenze trasversali di cittadinanza) sottolineano il valore della cura verso l'ambiente, praticata come responsabilità condivisa. Da questo punto di vista va considerato che l'orto permette di esercitare la cura in modo diretto e quotidiano, offrendo continui feedback riguardo all'efficacia o inefficacia delle nostre azioni. Oltre agli aspetti scientifici e di cittadinanza, l'orto si presta, come tutte le "esperienze vive", all'integrazione di diverse discipline: possiamo pensare ad esempio alla matematica (misurazioni, classificazioni...), o allo sviluppo di competenze linguistiche, tramite discussioni, scrittura di diari delle attività, articoli per il giornalino, lettura e comprensione di testi per la ricerca... In particolare nei contesti



plurilingui, avere in comune un referente concreto come l'orto può essere un'occasione preziosa di comunicazione e sviluppo lessicale.

Passando dalla "teoria", esplicitata dalle Indicazioni, alla pratica, possiamo constatare con soddisfazione che gli orti continuano ad essere molto diffusi nelle scuole italiane (97 solo nella città di Torino, per dare un'idea)⁷ e oggetto di innumerevoli progetti, finanziati da enti pubblici o privati. Più difficile è valutare quanti di questi progetti siano effettivamente integrati nel curriculum, e quanto invece si traducano in esperienze episodiche, gestite magari da personale esterno e poco collegate alla quotidianità della vita scolastica. Dal mio punto di vista qualsiasi esperienza di orto è comunque benvenuta; tuttavia, come maestra da qualche anno alle prese con gli orti scolastici, mi sento di incoraggiare colleghe e colleghi ad evitare un atteggiamento di delega agli esperti esterni, stringendo invece con loro una collaborazione fondata sul dialogo; meglio ancora, l'ingresso a scuola di figure con elevate competenze tecniche

7. Torino Food Metrics Report 2023.

e teoriche può essere gestito come l'occasione, per noi docenti, di acquisire una formazione adeguata, che ci permetta poi, gradualmente, di gestire gli orti in prima persona insieme agli alunni (magari chiedendo all'esterno consulenze per necessità specifiche). Quest'esperienza infatti è talmente ricca di potenzialità pedagogiche e didattiche, che davvero può arrivare a costituire un nodo portante del curriculum. A mio avviso, però, è più facile cogliere le occasioni che offre se noi docenti arriviamo ad acquisire una certa autonomia di gestione e progettazione.

Perché “Orto Sinergico”

Dopo alcuni anni di “prove ed errori” in orto con i bambini, sono giunta alla conclusione che, tra tanti approcci possibili all'orticoltura, il metodo Sinergico offra particolari potenzialità dal punto di vista sia pedagogico, sia della didattica delle scienze, in una prospettiva ecologica e sistemica come quella sopra esposta. Nel descrivere a grandi linee alcune sue caratteristiche, cercherò di far emergere le ragioni che mi hanno finora sostenuto nella scelta.

Il metodo Sinergico di coltivazione degli orti inizia a svilupparsi intorno al 1980 ad opera dell'agronoma spagnola Emilia Hazelip. Esso si colloca nella più ampia cornice della Permacultura, definibile a sua volta come un sistema di progettazione di insediamenti umani sostenibili, che comprende anche aspetti quali l'architettura, la gestione dell'energia e delle risorse del territorio, il benessere delle persone e delle comunità che in esso lavorano. La Permacultura non pretende di essere “una scienza” ma, per poter progettare in armonia con il territorio, necessita di una conoscenza quanto più profonda di tutti gli aspetti biologici, fisici, geografici, climatici, culturali dell'ambiente in cui si progetta un “insediamento umano”; si avvale quindi di tutte le possibili conoscenze scientifiche, tecniche e pratiche neces-

sarie al fine di massimizzare l'efficienza, l'armonia, la sostenibilità, minimizzando gli sprechi di risorse, energia e lavoro. Il termine include i concetti di “permanenza”, ovvero l'opposto della predazione, dello sfruttamento delle persone, dell'esaurimento delle risorse, in un sistema che si autorigenera, ispirandosi alle capacità autorigenerative degli ecosistemi naturali; la parola Permacultura contiene inoltre l'idea di “cultura”, ovvero l'insieme di pratiche, conoscenze e principi etici che permettono la sostenibilità a lungo termine. L'Orto Sinergico non coincide con la Permacultura ma è una delle possibili pratiche che con essa si armonizzano, ed è spesso utilizzato all'interno di progettazioni permaculturali più vaste. Il nome scelto per il metodo (da *syn-ergo*, ovvero *lavoro insieme*) rende particolarmente trasparente la centratura dello sguardo sulle relazioni che si sviluppano all'interno dell'orto come ecosistema, di cui anche la piccola comunità degli orticoltori diviene parte attiva. Nell'efficace sintesi di un mio alunno, Mohammed, che ha collegato la sua esperienza musicale con quella agricola: “l'orto sinergico è come un coro, perché tutti gli esseri viventi collaborano”. La caratteristica più evidente dell'Orto Sinergico è la consociazione tra piante di molte specie diverse, partendo dall'idea che, mentre la monocultura favorisce il diffondersi delle patologie ed esaurisce il suolo (rendendo necessario un massiccio uso di fitofarmaci e concimi⁸), la biodiversità rende il sistema più flessibile, resistente e autonomo. Le piante sono scelte e posizionate in base alle caratteristiche di ognuna e alle esigenze del contesto, tenendo conto di quattro dimensioni, ovvero lo spazio viene utilizzato tridimensionalmente anche in altezza su più livelli, e si pone attenzione alla rotazione delle diverse specie nel corso del tempo. Le consociazioni rispondono ad esigenze molto varie. Alcune specie, ad esempio, sono utili per riparare le vicine da un eccesso di

8. Nell'orto Sinergico non si usano farmaci di sintesi, ma le popolazioni di insetti o le patologie derivate da funghi, batteri o virus vengono controllate,

oltre che con la consociazione delle piante, tramite macerati vegetali, olii essenziali, propoli, eccetera. I bambini possono essere coinvolti in molti

casi nella preparazione e uso di questi prodotti non tossici. L'uso di concimi anche naturali viene in genere evitato, affidandosi invece, principal-

mente, ai cicli della materia organica, come spiegherò più avanti.

sole o vento. Altre piante, come le liliacee e alcune erbe aromatiche, sono particolarmente efficaci per fare da barriera contro i parassiti, per cui vengono tendenzialmente poste all'esterno del bancale. A questo proposito, si può già fare una notazione didattica, ovvero la pregnanza di significato che assume in questo contesto la classificazione delle piante in famiglie o gruppi, mentre analoghe attività, svolte solo in classe su schede o testi, tendono a non lasciare traccia. Anche le piante da fiore hanno un ruolo importante in ogni bancale, in quanto attirano gli impollinatori, e in alcuni casi allontanano animali dannosi. Molti studi sperimentali hanno confermato, ad esempio, l'efficacia del tagete, che, tramite i suoi essudati radicali, allontana i nematodi, dannosi per le radici dei pomodori e di altre colture. Altro elemento sempre presente sono le leguminose (fagioli, piselli... ma anche il trifoglio, che spesso in orto si sviluppa spontaneamente). Esse, come noto, hanno un ruolo di azotofissatrici (grazie alla loro simbiosi con i batteri del genere *Rhizobium*) e come tali contribuiscono ad arricchire il terreno. In questo rapidissimo excursus sono già emerse, oltre alle relazioni tra piante, anche quelle con altri esseri viventi. A volte si tratta di relazioni e incontri più evidenti: "è la prima volta che lavoro vicino alle api!" racconta Douae, otto anni, mentre si fa forza per superare la paura. Altro incontro spesso "d'impatto" è quello con i lombrichi: i bambini però imparano presto a considerare questi animali come preziosi collaboratori, così come le coccinelle, predatrici di afidi. Altre volte ci si imbatte in relazioni nascoste, come quelle con i microorganismi, che possono comunque essere oggetto di approfondimento e ricerca in classe, utilizzando testi di divulgazione adeguati all'età dei bambini, e a partire dalle loro domande. La relazione con i microorganismi è, paradossalmente forse, alla base della caratteristica più "voluminosa" dell'Orto Sinergico, ovvero la struttura dei suoi bancali. Il lavoro è faticoso nella fase iniziale, quando i bancali vengono costituiti: per varie ragioni questi sono abbastanza alti e formati da strati diversi di materia organica. In realtà la fase di preparazione è la più divertente per molti



bambini, che amano mettere alla prova le proprie energie con vanghe e carriole. In seguito, però, il lavoro umano diminuisce molto, poiché i bancali non vengono mai più rivoltati. Il metodo di Hazelip si inserisce infatti nella nuova consapevolezza, gradualmente sviluppatasi in agronomia nella seconda parte del Novecento, dei problemi di fertilità del suolo determinati dall'aratura. È attualmente accertato che l'esposizione dei microorganismi anaerobi all'aria e l'interramento di quelli aerobi, ciò che accade quando si rivoltano il terreno, porta alla morte di entrambe le popolazioni, creando un enorme danno all'ecosistema-suolo. In questo senso il nostro lavoro nell'orto è influenzato in modo molto evidente dalla relazione che cerchiamo di mantenere con questi collaboratori invisibili. I microorganismi hanno infatti un ruolo fondamentale nei cicli della materia organica, sfruttati nell'Orto Sinergico per coltivare l'autofertilità del suolo. Man mano che le piante terminano il loro ciclo e muoiono, le radici e le parti che non abbiamo utilizzato vengono lasciate in loco a decomporsi, restituendo così al suolo gli elementi utilizzati durante la crescita. A ciò si aggiunge anche il largo uso che si fa, in questo metodo, della pacciamatura, composta da materia organica (paglia, sfalci verdi, foglie secche...). La pacciamatura ha inizialmente una funzione di protezione del terreno dall'eccesso di evapora-

zione o dilavamento (sempre nell'ottica di evitare gli sprechi d'acqua e il disturbo del suolo), ed evita la crescita smisurata di piante spontanee. Gradualmente, però, anche la pacciamatura si decompone, nutrendo il suolo, a somiglianza di quanto accade con lo strato di foglie secche presenti nei boschi. Questa fase rende evidente dapprima il ruolo dei decompositori visibili, come lombrichi, onischi, funghi saprofiti, per poi lasciare il campo ai loro colleghi microscopici. La fase della decomposizione è frutto di osservazioni importanti e sorprendenti per i bambini (si vedono letteralmente le cose sparire, anche se dopo un lento processo di cambiamento). A livello emotivo questo passaggio è perturbante, anche se, tramite la riflessione condivisa nel gruppo classe, giunge in genere a dare sicurezza e conforto. In una società che fa di tutto per rimuovere l'idea della morte, questa non può che essere più spaventosa che mai, come tutti i rimossi, anche per i bambini. La consapevolezza dei processi di decomposizione che portano al nascere di nuova vita ricolloca invece la morte all'interno dei cicli naturali, non come contrario della vita ma come sua parte fondamentale. A conclusione di questa

breve esposizione del metodo, posso aggiungere che, probabilmente, le conoscenze richieste per rendere adeguatamente produttivo un Orto Sinergico sono maggiori rispetto a metodi più convenzionali, proprio perché si ricercano soluzioni adeguate al contesto e non standardizzate. In compenso questo approccio richiede meno lavoro sul lungo periodo, poiché le conoscenze via via acquisite ci permettono, secondo i principi della Permacultura, di "lavorare con, e non contro" l'ordine interno dell'ecosistema. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente interessante in ambito scolastico, tanto più che a scuola possiamo sperimentare e sbagliare senza che ne vada della nostra sussistenza. Anzi, l'errore (anche della maestra!) è un'occasione di apprendimento fondamentale, se lo si pone come avvio di ipotesi e ricerche: perché questa cosa non ha funzionato? Che cosa possiamo cambiare? Non tutti gli aspetti della progettazione dell'orto possono essere condivisi coi bambini, specie se piccoli, ma è sempre possibile coinvolgerli nei processi di individuazione dei problemi, delle loro possibili cause e soluzioni. La fase di progettazione iniziale resta invece in buona parte una responsa-



bilità degli adulti, poiché è particolarmente importante e delicata nell'Orto Sinergico: non esiste un "orto modello" da riprodurre, bensì è necessario, in ottica permaculturale, tenere conto delle risorse e delle condizioni locali. Oltre ad una conoscenza generale del clima della zona e delle piante adatte ad esso, l'insegnante che voglia avviare un orto scolastico necessiterà di molte informazioni più specifiche, e inizierà per prima cosa a porsi delle domande, come: "Quali sono le dimensioni e le caratteristiche dello spazio che ho a disposizione?" Oltre all'insolazione, si potrà osservare se sono già presenti alberi o altre piante che potrebbero interagire con l'orto, se è una zona protetta dal vento, o per esempio da incursioni dei bambini che giocano a pallone. D'altra parte, è bene che l'orto non sia collocato in modo da risultare troppo d'intralcio al gioco o al passaggio. Fondamentale è anche capire se possiamo coltivare in piena terra o dobbiamo utilizzare dei cassoni. Ci si chiederà poi: "Come si accede all'acqua? Ho a disposizione materiali per comporre i bancali, per pacciamare, per un recinto, ho tubi e cisterne per irrigare⁹, o devo acquistare tutto? C'è modo di ottenere risorse economiche? Come posso trovare collaborazione all'interno della scuola? O all'esterno (esperti, famiglie, vicinato...)? Dovrò affrontare delle opposizioni? Quanti bambini sono coinvolti? Quali energie, tempo e competenze posso mettere in campo?" In seguito a questo tipo di indagine, decideranno forma, dimensione, posizione dell'orto, e si potrà iniziare a disegnarne il progetto segnando, al suo interno, dove collocare le piante in base alle loro esigenze e alle consociazioni. Ovviamente, più l'orto è grande più ciascun bambino potrà essere attivo e coinvolto. Tuttavia, può essere una buona idea iniziare anche con un piccolo cassone dimostrativo, in mancanza di risorse o esperienza. Ci si può poi allargare man mano: una volta iniziato, è più facile prendere sicurezza e coinvolgere la

comunità che ci circonda.

Le considerazioni fin qui esposte sono di carattere generale. Nel prossimo paragrafo passerò a quelle particolari, centrando lo sguardo sulla specifica realtà sociale dell'I.C. Gabelli di Torino, dove il nostro Orto Sinergico sta attualmente crescendo.

L'orto in un quartiere "di confine"

"Usa i bordi, valorizza il margine" è uno dei principi della Permacultura individuati dall'agronomo David Holmgren: egli ci invita a porre attenzione alle zone di passaggio tra un ecosistema e l'altro, dove spesso accadono cose interessanti, dovute alle relazioni tra viventi che altrove non entrano in contatto. Lavorando in un quartiere il cui eloquente nome è "Barriera di Milano", storicamente il confine orientale della città di Torino, con la sua barriera doganale, da sempre quartiere di immigrazione e di passaggio, penso spesso a questa indicazione, e al suo possibile valore di metafora in senso umano e sociale. Ovviamente, perché la metafora tenga, è necessario intendere, qui, il "valorizzare e usare" non come una messa a profitto da parte di soggetti esterni, né tantomeno come lo sguardo incantato del turista verso un quartiere "esotico e multicolore": si tratta, invece, della presa di coscienza delle proprie risorse individuali e collettive, della riappropriazione di spazi da parte degli abitanti, verso l'emancipazione dalla marginalizzazione sociale. In Barriera, da questo punto di vista, succedono in effetti molte cose interessanti. Una di esse è la realtà degli orti urbani di comunità, nati per venire incontro alle esigenze di alimentazione sana e adeguata e, insieme, alle necessità di radicamento e condivisione, proprie di persone provenienti da paesi, culture, condizioni socioeconomiche, generazioni diverse. È una fortuna per la scuola, per le insegnanti che come me vogliono formarsi in questo campo e per i bambini, poter interagire con questa realtà, che ci offre continue opportu-

9. Nell'orto Sinergico si tende ad utilizzare impianti di irrigazione a goccia, per non disturbare il suolo e risparmiare acqua. Sono molto semplici

da costruire forando dei tubi e possono essere collegati a un timer per innaffiare anche in nostra assenza. Ideale sarebbe anche riutilizzare l'acqua pio-

vana tramite cisterne, magari collegate alle grondaie della scuola, per un uso responsabile dell'acqua. Queste semplici tecnologie però non sempre si

riescono ad installare a scuola, ed è necessario pensare a soluzioni di ripiego.

nità, dal corso di lombricoltura per adulti all'Agrodoposcuola per i nostri alunni¹⁰. Dal canto suo l'orto scolastico sta crescendo "per contagio d'entusiasmo" all'interno dell'Istituto, moltiplicando le relazioni tra bambini e insegnanti di più classi, e intanto sta lavorando per integrarsi sempre più con gli altri orti del quartiere, tramite la partecipazione comune a bandi e progetti. In questo senso mi sembra molto evidente la relazione tra orti e crescita della comunità.

Da un punto di vista più strettamente didattico e pedagogico, l'orto ha un valore aggiunto in questo contesto per varie ragioni. Per alcuni bambini, come all'epoca di Latter, è la prima occasione di contatto con la natura. Per altri, al contrario, è un collegamento con le proprie origini: "Quando sento l'odore della paglia, mi sembra di essere a casa mia in Egitto", esclama Amir mentre sistema la pacciamatura. Walid, invece, ancora non parla italiano al suo arrivo nella nostra classe, in quarta, ma dalla delicatezza e competenza che mostra con le piante è chiaro che è esperto, e ci intendiamo subito malgrado la barriera linguistica: fratellanza orticola internazionale! Le parole legate all'orto sono tra le prime che impara, e presto arriva a raccontarmi qualcosa della sua esperienza in quello dello zio in Marocco.

Il rapporto tra lingua materna e italiano, sereno per la maggioranza dei bambini, per Precious rimane conflittuale lungo tutti gli anni della scuola primaria: questa sua difficoltà costituisce un grosso freno in tante discipline e un limite nella socializzazione. L'orto è il luogo in cui è più attiva ed entusiasta, e dove dimostra uno spirito di osservazione non comune. La cosa che più l'affascina è l'apparato radicale delle piante. Per esempio, nota subito che "per trapiantare una pianta, bisogna separare le radici". Ma ciò che la colpisce di più, e che nomina spesso anche a distanza di anni da quando ne abbiamo parlato in classe, è

il Wood Wide Web, la rete di radici e ife che consente la silenziosa comunicazione tra le piante anche a grandi distanze. A fine anno, in terza, non se la sente di scrivere, come i compagni, un resoconto personale delle attività nell'orto, ma mi consegna invece un disegno: è molto semplice, ma sono ben evidenti le radici di alberi, verdure, fiori, funghi, tutte collegate; sottoterra ci sono i lombrichi, sopra, bruchi, api (anche un alveare su un albero), farfalle, e in alto il sole. Non ho qui lo spazio per addentrarmi in una discussione sulla valutazione. Tuttavia il disegno di Precious (messo in relazione con le osservazioni e l'ascolto della bambina sul lungo periodo) mi sembra un buon esempio di come, pur senza ricorrere a una verifica scritta o a un'interrogazione, si possano ottenere molte informazioni sul raggiungimento degli obiettivi di apprendimento, oltre che spunti di riflessione su questioni affettive più profonde, che spesso i bambini esprimono in forma di metafora (radicamento e sradicamento, separazione, bisogno di comunicazione e connessione anche da parte di chi non parla...).

Le storie che ho raccontato mi portano anche ad una considerazione finale sulle potenzialità inclusive dell'orto, sia per la sua capacità di "creare comunità", sia per la varietà delle attività che in esso si svolgono o da esso prendono spunto: c'è chi trova soddisfazione nel lavoro più impegnativo fisicamente, chi al contrario nella delicatezza della cura quotidiana o nel contatto con l'acqua e



10. Mi riferisco in particolare al lavoro svolto in quartiere da Re.te ONG (www.reteong.org).

la terra trova un ambito per autoregolare i propri stati emotivi; c'è chi ama fare ricerche e chi documenta con le foto... ognuno trova il suo spazio in base alle proprie esigenze e capacità, portando il proprio contributo al gruppo, che da queste differenze trae forza, esattamente come accade alla comunità vegetale nell'Orto Sinergico. ●

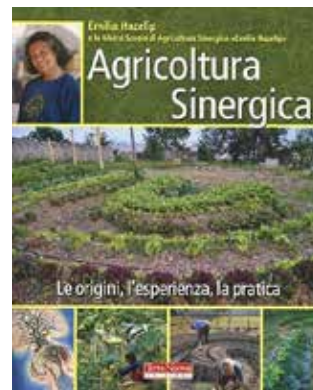
Bibliografia

- Capra F, *La rete della Vita*, Milano, Feltrinelli, 1996.
- Capra F, *Ecoalfabeto, l'orto dei bambini*, Viterbo, Stampa Alternativa, 2005.
- Faticenti F, *Gli orti didattici, ieri e oggi: premesse teoriche, contesti, esperienze, con particolare riferimento al caso dell'Umbria*, in Spadaro C, Toldo A, Dansero E (a cura di), *Geografia e cibo: ricerche, riflessioni e discipline a confronto*, Memorie Geografiche n.s., 20:523-530, 2021.
- Hazelip E e al, *Agricoltura Sinergica, le origini, l'esperienza, la pratica*, Firenze, Terra Nuova Edizioni, 2014.
- Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione*, DM 254/2012.
- Latter L, *Il Giardinaggio insegnato ai bambini*, Bologna, Pendragon, 2021 (ed. originale inglese 1906).
- Montessori M, *Come educare il potenziale umano*, Milano, Garzanti, 2018 (ed. originale inglese 1947).
- Mollison B, Slay R M, *Introduzione alla Permacultura*, Firenze, Terra Nuova Edizioni, 2007.
- Sartorello S, *Milpas Educativas: Entramados socio naturales comunitarios para el buen vivir*, Ciudad de México, RMIE vol.26 no.88 ene./mar. 2021.
- Sheldrake M, *L'ordine nascosto, la vita segreta dei funghi*, Milano, Feltrinelli, 2020.
- Shiva V, *Il bene comune della Terra*, Milano, Feltrinelli, 2005.
- Walliser J, *Plant Partners, Science-based companion planting strategies for the vegetable garden*, Storey Publishing, North Adams, MA, 2020.

Siti utili

<https://www.permacultura.it/index.php/en/>
<https://www.boscodiogigia.it/>
<https://www.regenhabitat.com/>

Emilia Hazelip e al, *Agricoltura Sinergica, le origini, l'esperienza, la pratica* Terra Nuova Edizioni, 2014



La terra è un organismo vivo, dispensatore generoso di cibo, non un supporto inerte su cui affaticarsi a ricavare una produzione: è questo il messaggio di Emilia Hazelip, ideatrice dell'agricoltura sinergica. Questo libro, nato dalla passione e dalla dedizione dei membri della Libera scuola di agricoltura sinergica, raccoglie gli scritti e l'esperienza di questa donna straordinaria, rendendoli finalmente disponibili per il grande pubblico. Mantenendo l'approccio pratico di un prontuario di orticoltura, vengono esposti i principi cardine dell'agricoltura sinergica: dalla rinuncia alla lavorazione del suolo all'uso sistematico della pacciamatura e delle aiuole rialzate, suggerendo in modo dettagliato come ottenere produzioni abbondanti e di qualità con il minimo intervento e nel massimo rispetto dell'ambiente naturale. Oltre alla descrizione pratica dei criteri e delle tecniche dell'agricoltura sinergica, vengono illustrati approfonditamente i concetti filosofici e scientifici che ne hanno ispirato l'elaborazione.

Emilia Hazelip invita il lettore ad avvicinarsi al lavoro nell'orto come alla cura di un sistema vivente in continua evoluzione, trasmettendo la meraviglia per l'incredibile complessità di relazioni che sono alla base della vita vegetale. Nella parte finale del volume sono raccolte le testimonianze di chi ha messo in pratica questi insegnamenti coltivando con successo un orto sinergico nella propria terra o comunità e negli ambiti sociali e professionali più disparati.

Valentina Diara, Valentina Grasso, Lorenzo Peruzzi, Sabrina Balestri
Un cardellino curioso alla scoperta dell'Orto Botanico di Pisa
Illustrazioni di Lucia Amadei
Edizioni ETS 2021, 2022



Va subito precisato che i volumi in questione sono due: uno per la parte più antica e uno per quella moderna dell'Orto Botanico di Pisa. Lo stesso titolo per entrambi ben sintetizza l'argomento trattato: un cardellino, uccellino vispo e curioso come deve esserlo un esploratore, guida il lettore alla scoperta dell'Orto Botanico. Trattandosi di un antico orto universitario (è stato collocato nel luogo attuale nel 1591) ospita alcuni vecchi alberi e piante coltivati a scopo scientifico, provenienti da ogni parte del mondo, con una storia interessante da raccontare. È proprio la scelta di narrare la storia dell'Orto e delle sue piante, attraverso i dialoghi che il cardellino instaura con esse, a rendere la lettura del libro piacevole e scorrevole. Il percorso esplorativo si addice ai ragazzi, ma riserva sorprese anche a un adulto. Il cardellino, appena uscito dal nido, inizia la sua esplorazione dalla parte più antica dell'Orto Botanico e scoprirà, insieme alla storia delle molte piante con cui si intrattiene, anche il ruolo fondamentale che esse svolgono in natura. Uno degli incontri più interessanti è quello con il “Signor Ginkgo biloba”, messo a dimora nel 1787, che racconta al cardellino le sue origini antichissime, la sua provenienza dalla lontana Cina e la sopravvivenza di sei alberi della sua specie all'esplosione atomica di Hiroshima. Gli parla anche dell'esistenza di una “Signora Ginkgo” che sta nella parte opposta del giardino, ma il lettore potrà conoscerla solo nel volume sulla parte moderna. Qui scoprirà come mai il Signor

Ginkgo non gli aveva spiegato il motivo per cui i semi della sua amata non sono molto apprezzati. In questa parte dell'Orto il cardellino incontrerà anche un'altra pianta sopravvissuta alla bomba atomica, l'albero di cachi, anch'esso considerato un “Albero della Pace”. Si viene anche a conoscere che il suo frutto era molto apprezzato nell'ottocento e che Giuseppe Verdi ne era entusiasta, tanto da divenirne il primo vero produttore in Italia. Ma queste sono solo due delle tante piante intervistate dal cardellino e tutte sono prodighe di storie e informazioni botaniche. Nel suo viaggio di esplorazione l'uccellino oltre a fare la loro conoscenza capirà anche quanto l'uomo abbia alterato gli equilibri ecologici e biologici, attraverso guerre, inquinamento e deforestazione, tutti problemi su cui far riflettere i giovani lettori. L'esplorazione dell'Orto diventa così un percorso di formazione che contribuirà a creare un legame speciale con questo luogo che potrà divenire una meta abituale per chi risiede a Pisa (stagioni diverse offrono sorprese diverse) e potrà concretizzarsi in un progetto di visita per chi, come il cardellino, è curioso di conoscerlo da vicino. Tutti gli altri lettori dovranno accontentarsi dei bei disegni e dei numerosi codici QR inseriti nel testo che aiutano a visualizzare le molte piante descritte. Solo l'osservazione diretta consentirà però di apprezzarne la struttura e la bellezza e come valore aggiunto permetterà di godere anche dei profumi e dei canti degli uccelli, non solo dei cardellini.

Lucia Stelli

Hanno collaborato a questo numero:

Anna Aiolfi è stata insegnante alla scuola dell'infanzia. Ha condotto laboratori per l'Università di Padova e Milano Bicocca. È formatrice in ambito matematico-scientifico e autrice di libri e articoli. Fa parte del Movimento di Cooperazione Educativa.

Marco Bondini, ingegnere elettronico di professione e fotografo naturalista nel tempo libero. Il suo interesse è rivolto soprattutto alla macrofotografia, interpretata come mezzo per documentare lo svolgimento della vita nel micromondo degli insetti e degli altri piccoli invertebrati. Ha pubblicato alcune sue foto su prodotti editoriali aventi carattere divulgativo: *I Sirfidi (Ditteri): biodiversità e conservazione. Manuale operativo*, ISPRA; *Rete Natura 2000: Biodiversità in Calabria* a cura della Regione Calabria; *Una Montagna di Vita. Ecosistemi d'alta quota e cambiamenti climatici*, C.N.R. È membro del consiglio direttivo della Associazione Fotografi Naturalisti Italiani (AFNI).

Paola Bortolon, laureata in Scienze Biologiche e Psicologia dello sviluppo e dell'educazione presso l'Università degli Studi di Padova, si è abilitata per l'insegnamento di Matematica e Scienze, di Scienze degli Alimenti e di Scienze naturali, chimica, geografia e microbiologia nelle scuole secondarie. Ha tenuto numerosi corsi per la formazione scientifica e l'aggiornamento dei docenti, collaborato ad alcuni progetti di INDIRE (Istituto Nazionale Documentazione Innovazione Ricerca Educativa), nella preparazione degli insegnanti alle prove INVALSI e OCSE-PISA ed è stata coinvolta in numerosi progetti nazionali ed europei.

Lucia Duca, ricercatrice di Fisica Sperimentale all'INRIM. Lavora al LENS, laboratorio europeo di spettroscopia non lineare a Firenze, dove si occupa di interazione luce-atomi per lo sviluppo di tecnologie quantistiche. Occasionalmente si occupa di outreach nel podcast "Sorelle Scienziette" e di eventi di sensibilizzazione sulla parità di genere nella scienza dentro e fuori i centri di ricerca.

Margherita Duca, laureata in Scienze Chimiche, ha conseguito il dottorato all'estero nel campo della chimica farmaceutica. Attualmente vive nei Paesi Bassi, dove ricopre una posizione di ricerca per un'azienda biotecnologica specializzata nello sviluppo di nuovi farmaci antitumorali. La sua passione per la comunicazione scientifica è culminata nella creazione di "Sorelle Scienziette", un podcast che gestisce con la sorella Lucia per raccontare la scienza in modo leggero e spiritoso.

Fabio Fantini, già docente di scienze naturali, chimica e geografia, autore e collaboratore della Italo Bovolenta Editore, ha contribuito a costituire il Gruppo Olimpiadi delle Scienze dell'ANISN e ne ha fatto parte fino al 2019; è stato membro della redazione della rivista

Naturalmente a partire dal 2005 e della redazione di Naturalmente Scienza fin dall'origine.

Fiorenzo Ferlaino è stato dirigente di ricerca dell'Area Territorio e Ambiente dell'Istituto di Ricerche Economiche e Sociali del Piemonte (IRES), con incarico di vicedirettore dal 2019-2021. È stato, per oltre un decennio, professore a contratto di Geografia Politica e Economica all'Università e al Politecnico di Torino. È stato membro del direttivo e segretario scientifico dell'Associazione Italiana di Scienze Regionali (AISRe). Attualmente è socio AISRe in quiescenza e redattore della rivista on-line *Politiche Piemonte*.

Silvano Fuso, laureato in chimica e dottore di ricerca in scienze chimiche, è stato docente di chimica e si occupa di didattica e divulgazione scientifica. È stato membro del Consiglio Scientifico del Festival della Scienza di Genova dal 2016 al 2023. È socio effettivo del CICAP (Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni sulle Pseudoscienze). È membro del Comitato di Redazione di La Chimica nella Scuola. È tra i soci fondatori di SeTA (Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura). Fa inoltre parte dell'advisory board del corso di Dottorato di Ricerca in "Etica della comunicazione, della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica" del Dipartimento di filosofia, scienze sociali, umane e della formazione dell'Università degli Studi di Perugia

Eleonora Polo è laureata in Chimica e ha conseguito il dottorato in Scienze Chimiche. È ricercatrice presso il Centro Studi su Fotoreattività e Catalisi del CNR di Ferrara, ora sezione dell'Istituto per la Sintesi organica e la Fotoreattività (ISOF) del CNR di Bologna. È responsabile editoriale della rivista AIM Magazine, il periodico dell'Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia delle macromolecole.

Maria Pezzia è un'insegnante di Scuola Primaria. Occupandosi di formazione dei docenti, ha collaborato con l'Università di Pisa, con INDIRE e con le università di Napoli Federico II e Benincasa. Dopo la laurea in Scienze della Formazione ha conseguito un dottorato in Pedagogia, con una tesi sulla formazione matematica degli insegnanti in Portogallo. In seguito si è formata nel Metodo Montessori. Ha lavorato presso il museo interattivo Città della Scienza di Napoli. Dal 2014 ha iniziato ad occuparsi degli orti nelle scuole in cui ha insegnato. Si è avvicinata all'agricoltura Sinergica tramite l'esperienza negli orti urbani condivisi di Milano e di Torino, e seguendo corsi teorico-pratici di Permacultura.

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

