

naturalmente scienza

ottobre 2023

anno 4

numero 3

quadrimestrale

in questo numero:

IN PRIMO PIANO: *Dobbiamo temere l'Intelligenza Artificiale?* di Francesco Marcelloni • *L'intelligenza artificiale che previene il mal di schiena* di Francesco Pistolesi • **RITRATTO DI FAMIGLIA:** *Pulicidae* di Piero Sagnibene • **FOCUS:** *I was born with a plastic spoon in my mouth* di Fabio Fantini • *Microplastiche: origine, diffusione ed effetti* di Andrea Corti • *Minacce in alto mare: la plastica* di Eleonora Polo • **UNO SCATTO ALLA NATURA:** *Il groviglio amoroso delle limacce* di Raffaello Corsi • **CONTRIBUTI:** *Percorsi, non sempre facili, di donne in astronomia* di Nicoletta Lanciano • *La finitezza delle risorse terrestri. Un focus sul bilancio idrico nazionale* di Yuri Galletti • **FARE SCUOLA:** *Ospiti in classe. Attività laboratoriali con i viventi nella Primaria* di Maria Castelli • *Insegnare biologia nella scuola secondaria di primo grado* di Lucia Stelli • **IN MEMORIAM:** *Ricordo di Angelo Baracca* di Flavio Del Santo

naturalmente scienza

**ottobre 2023
anno 4
numero 3
quadrimestrale**

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:

Laghi salati in Camargue

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

editoriale

Undici numeri di una rivista quadrimestrale significano quattro anni di lavoro attorno ad un progetto che si è affinato durante la crescita. Le difficoltà sono state molte e non possiamo dire che siano tutte superate. Indubbiamente la crisi della lettura nel nostro paese incide molto e la “moria” di edicole ne è un segnale preoccupante. Questo non significa che le persone siano diventate rapidamente meno desiderose di informarsi, ma che i mezzi di informazione si sono enormemente diversificati e sono facilmente utilizzabili anche gratuitamente. La carta stampata diventa sempre più un lusso per pochi. In questi cambiamenti inevitabili ci sono aspetti preoccupanti per il raggiungimento di una formazione coerente e sufficientemente approfondita in questo mare di suggestioni e offerte elettroniche e televisive. È più facile vedere di tutto, ma non tutto, anzi pochissimo, è soggetto ad un controllo soddisfacente di qualità. In Italia non mancano periodici divulgativi nell’area scientifica in grado di soddisfare le esigenze dei lettori. Anche la rete offre possibilità di affrontare temi complessi: c’è una infinità di canali anche su tematiche assai impegnative che si offrono gratuitamente e non mancano siti ricchi di informazioni, controllate da specialisti, su ogni campo del sapere.

Ma in Italia c’è un problema di analfabetismo di ritorno: “Un analfabeta di ritorno dimentica via via quanto assimilato perdendo di conseguenza la capacità di utilizzare il linguaggio scritto o parlato per formulare e comprendere messaggi e comunicare con il prossimo e con il mondo circostante. Per definizione l’analfabetismo di ritorno differisce dall’analfabetismo, che è invece determinato dal non avere mai assimilato alcuna competenza di scrittura e di lettura” (Wikipedia). “L’analfabetismo di ritorno unito all’analfabetismo funzionale, ossia all’incapacità a usare in modo efficace le competenze di base, nel nostro Paese tocca la quota del 47%. Il valore si è ridotto rispetto a quanto rilevato nei due anni precedenti, quando i lettori erano rispettivamente il 41,4% (2020) e il 40,8% (2021) dei residenti di quell’età. Secondo ricerche internazionali solo il 20% della popolazione adulta italiana possiede gli strumenti indispensabili per orientarsi con efficacia e in modo autonomo nella vita di tutti i giorni. In una società sempre più complessa e globale, la cultura e più in generale la conoscenza della realtà dovrebbero crescere, e non decrescere, per riuscire a garantire una capacità di risposta adeguata ai nuovi problemi. Dal 2000, quando la quota di lettori risultò pari al 39,1%, l’andamento è stato crescente fino a raggiungere il picco massimo nel 2010 (46,8%), per poi ridiscendere progressivamente fino ad arrivare nel 2016 allo stesso livello del 2001 (40,5%)” (Enciclopedia Treccani).

Allora cosa ci sta a fare una nuova rivista?

NaturalmenteScienza è una nuova rivista che si giova di decenni di esperienza precedente di molti suoi redattori e gode del sostegno di un gruppo di lavoro allargato a scienziati di alto livello che hanno il compito di controllare ciò che si scrive e si propone. I temi trattati sono intersecati tra loro e le sezioni che li affrontano sono soggette ad aggiornamenti tempestivi anche grazie all’omonimo sito. Siamo ripartiti perché convinti dell’importanza della scienza e della pericolosità dell’ignoranza. Cerchiamo di offrire pareri importanti anche al miglioramento del nostro sistema formativo che rimane alla base dello sviluppo culturale dei nostri figli.

SOMMARIO

IN PRIMO PIANO: INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Dobbiamo temere l'Intelligenza Artificiale? <i>di Francesco Marcelloni</i>	5
L'intelligenza artificiale che previene il mal di schiena <i>di Francesco Pistolesi</i>	11

RITRATTO DI FAMIGLIA

Pulicidae <i>di Piero Sagnibene</i>	17
--	----

FOCUS: PLASTICHE E MICROPLASTICHE

I was born with a plastic spoon in my mouth <i>di Fabio Fantini</i>	23
Microplastiche: origine, diffusione ed effetti <i>di Andrea Corti</i>	27
Minacce in alto mare: la plastica <i>di Eleonora Polo</i>	33

UNO SCATTO ALLA NATURA

Il groviglio amoroso delle limacce <i>di Raffaello Corsi</i>	41
---	----

CONTRIBUTI

Percorsi, non sempre facili, di donne in astronomia <i>di Nicoletta Lanciano</i>	43
La finitezza delle risorse terrestri. Un focus sul bilancio idrico nazionale <i>di Yuri Galletti</i>	51

FARE SCUOLA

Ospiti in classe. Attività laboratoriali con i viventi nella Primaria <i>di Maria Castelli</i>	57
Insegnare biologia nella scuola secondaria di primo grado <i>di Lucia Stelli</i>	65

IN MEMORIAM

Ricordo di Angelo Baracca <i>di Flavio Del Santo</i>	76
---	----

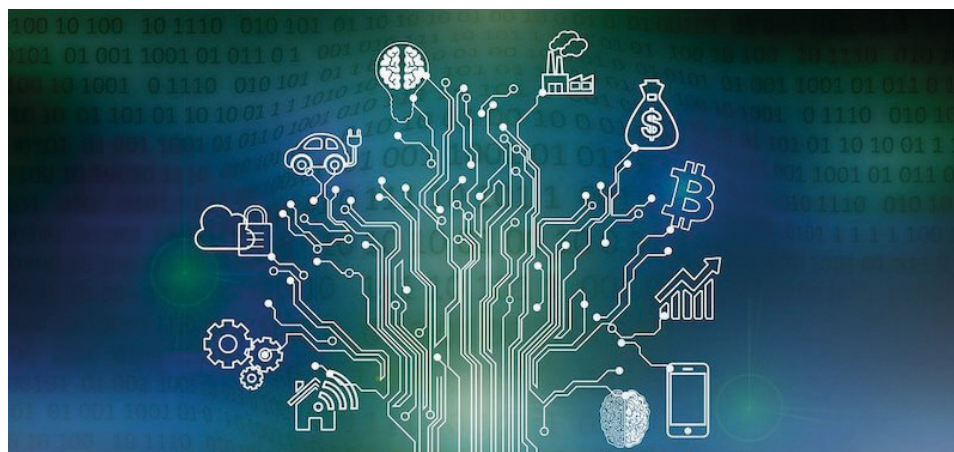
Dobbiamo temere l'Intelligenza Artificiale?

Francesco
Marcelloni

The advent of chatGPT has further fueled discussions about the possible dangers of Artificial Intelligence. While everyone recognizes the immense potential of this technology, many also highlight the potential risks it poses to individuals and society. The article explains that some risks are inherent to the machine learning algorithms that underlie the major successes of current Artificial Intelligence, while others arise from its improper use. What are governments doing to protect us? In Europe, the European Parliament has just approved the AI Act, which regulates the development and use of AI-based systems. This is an important initial step that could have significant implications, but only if scientific research develops adequate technical support to ensure that systems comply with the regulations.

Keywords: *Artificial Intelligence, Machine Learning, EU AI Act, Federate Learning*

Il termine “intelligenza artificiale” (IA) venne coniato per la prima volta nel 1956, durante una storica conferenza tenuta al Dartmouth College, negli Stati Uniti¹. Questa conferenza è universalmente riconosciuta come l’inizio ufficiale dell’IA come disciplina accademica. Gli studiosi che vi parteciparono, tra cui gli organizzatori John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, sono spesso considerati i pionieri dell’IA. Per anni l’IA è rimasta confinata nell’ambito scientifico, dove diversi ricercatori hanno lavorato allo sviluppo di nuovi algoritmi, metodologie e tecnologie, senza avere la risonanza mediatica a cui stiamo assistendo recentemente: il grande pubblico aveva potuto conoscere l’IA solo attraverso qualche film di fantascienza, dove erano state immaginate le sue enormi potenzialità ma anche evidenziati i suoi possibili rischi, spesso catastrofici. Oggi l’IA è applicata in molteplici settori nella vita quotidiana, quali ad esempio sanità, automazione industriale, assistenza alla guida, riconoscimento vocale e del linguaggio naturale, finanza, e-commerce, sicurezza informatica, insegnamento. In molte di queste applicazioni, l’IA ha ricadute positive sugli individui e sulla società, che tutti possono apprezzare. Per esempio, l’IA è stata utilizzata con successo per migliorare la diagnosi medica, è alla base degli assistenti vocali, dei sistemi di traduzione automatica del testo, dei sistemi di raccomandazione personalizzata, e di molti dei sistemi che vengono utiliz-



1. McCarthy J, Minsk ML, Rochester N, Shannon CE, *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, August 31, 1955, AI Magazine, volume 27, 4:12-14, 2016, DOI: 10.1609/aimag.v27i4.1904.

zati per aumentare la sicurezza delle auto, solo per citare alcune delle applicazioni di uso comune.

Alla base dell'IA, ci sono gli algoritmi di apprendimento automatico che consentono ai computer di apprendere in modo autonomo dai dati: invece di seguire istruzioni dettagliate per svolgere specifici compiti, questi algoritmi utilizzano i dati storici come esempi per estrarre conoscenza, creare modelli e trarre conclusioni, al fine di fare previsioni o prendere decisioni in situazioni simili a quelle incontrate nel processo di addestramento. Un esempio di apprendimento automatico è lo sviluppo di un sistema per il riconoscimento di oggetti in immagini, che oggi viene tipicamente eseguito con reti neurali convoluzionali (CNN)². Le CNN sono un tipo di architettura di rete neurale artificiale ispirata al modo in cui il cervello umano analizza e identifica le immagini. La CNN viene addestrata con un vasto insieme di immagini contenenti oggetti delle varie categorie, come gatti, cani, automobili, persone, e impara dai dati di addestramento a riconoscere i pattern e le caratteristiche distintive che definiscono ciascuna categoria di oggetti. Una volta addestrata, la CNN può essere utilizzata per riconoscere oggetti in nuove immagini. Ad esempio, quando le viene mostrata un'immagine di un cane, la CNN utilizza ciò che ha imparato durante l'addestramento per identificare l'oggetto come un cane.

Viene spontaneo chiedersi perché solo recentemente, dopo quasi 70 anni dalla sua nascita, l'IA sia diventata così popolare da essere argomento dibattuto non solo tra gli esperti e da spingere diversi paesi nel mondo ad interventi legislativi mirati. Le ragioni sono principalmente cinque:

1) *Lo sviluppo tecnologico*: oggi abbiamo a disposizione grande potenza di calcolo, anche grazie allo sviluppo di architetture hardware specializzate per l'IA, e quasi infinita capacità di

memorizzazione che permettono di eseguire algoritmi di apprendimento automatico sempre più complessi utilizzando enormi quantità di esempi;

2) *Nuovi algoritmi di apprendimento automatico*: gli algoritmi utilizzati oggi sono più evoluti e sofisticati rispetto al passato, e sono in grado di addestrare modelli sempre più complessi raggiungendo risultati sempre più precisi;

3) *Disponibilità di grandi moli di dati*: grazie all'esplosione dei social network, delle piattaforme digitali, dell'Internet delle cose che ci permette di raccogliere dati da sensori dislocati ovunque, ecc., oggi possiamo acquisire e memorizzare grandi moli di dati che consentono di eseguire i nuovi algoritmi di apprendimento automatico in modo efficace;

4) *Impatto nella vita quotidiana*: l'IA oggi non è una tecnologia confinata in pochi laboratori di ricerca ma viene usata quotidianamente con un notevole impatto nella vita di tutti i giorni in vari settori: possiamo dire che ormai l'IA è pervasiva;

5) *Grandi investimenti*: l'IA è universalmente considerata una tecnologia dirompente e sta ricevendo investimenti significativi sia nella ricerca che nel trasferimento tecnologico in tutto il mondo da parte di aziende, governi e istituzioni accademiche: questi investimenti stanno permettendo di coinvolgere sempre più ricercatori nello sviluppo delle sue potenzialità.

L'enorme crescita dell'IA e il suo impatto sugli individui e sulla società ha portato diverse nazioni a dotarsi di regolamenti appositi per cercare di limitare i possibili rischi legati al suo utilizzo. Tutti questi regolamenti riconoscono da un lato la rilevanza dell'IA e le sue ricadute positive in molteplici settori applicativi, dall'altro cercano di limitare gli eventuali rischi che possono essere generati dal suo uso. Ma quali possono essere questi rischi? I rischi possono essere intrinseci

2. Lecun Y, Bottou L, Bengio Y, Haffner P, *Gradient-based learning applied to document recognition*, Proceedings of the IEEE, volume 86, 11:2278-2324, 1998, DOI: 10.1109/5.726791.

agli algoritmi che vengono utilizzati e/o generati dall'uso improprio dei sistemi di IA.

La prima categoria di rischi è una conseguenza del modo in cui gli algoritmi di apprendimento automatico operano. Come spiegato precedentemente, questi algoritmi apprendono dai dati. Se i dati utilizzati, per esempio, sono influenzati da pregiudizi o distorsioni, ovviamente questi si trasmettono al modello che viene appreso automaticamente. Nella letteratura sono stati riportati vari casi in cui questo problema è stato riscontrato. Nel seguito, vengono discussi due dei casi più famosi. Nel 2018, venne rivelato che il modello sviluppato da Amazon utilizzando tecniche di apprendimento automatico per il reclutamento del personale mostrava un forte pregiudizio di genere³. A causa dei dati storici sulle assunzioni precedenti, in cui l'azienda aveva tendenza a favorire candidati di genere maschile per alcuni ruoli tecnici, il modello generato dagli algoritmi di apprendimento automatico aveva acquisito questo pregiudizio e continuava a discriminare le candidature di genere femminile.

Nel 2019 un articolo comparso su Science metteva in evidenza come un algoritmo ampiamente utilizzato dal sistema sanitario statunitense per identificare e aiutare i pazienti con esigenze di salute complesse presentasse una significativa discriminazione razziale: nonostante lo stesso livello di rischio fosse stato assegnato dall'algoritmo, nella realtà i pazienti di colore risultavano notevolmente più malati dei pazienti bianchi⁴. Correggere questa disparità avrebbe aumentato la percentuale di pazienti di colore che avrebbero ricevuto ul-

teriore assistenza dal 17,7% al 46,5%. Il pregiudizio si manifestava perché l'algoritmo prevedeva i costi delle cure anziché la malattia, ma l'accesso disuguale alle cure risultava in meno denaro speso per la cura dei pazienti di colore rispetto a quello speso per i pazienti bianchi, così portando alla discriminazione razziale.

I dati usati nell'apprendimento automatico potrebbero inoltre non rappresentare adeguatamente tutti i possibili scenari in cui il sistema si troverà ad operare. Il sistema potrebbe quindi essere non particolarmente robusto e non rispondere adeguatamente quando l'input che gli viene fornito è molto diverso dagli esempi utilizzati per l'addestramento. Prendiamo in considerazione l'ambito della guida autonoma dove vengono utilizzati sistemi di riconoscimento dei cartelli stradali per adattare la velocità dei veicoli ai limiti imposti nella strada di percorrenza. Questi sistemi sono basati su algoritmi di apprendimento automatico e utilizzano varie immagini di questi cartelli durante la fase di apprendimento. In una ricerca sperimentale pubblicata nel 2020⁵ è stato mostrato come questi sistemi possano essere trattati in inganno quando i cartelli sono stati rovinati dall'usura del tempo o manomessi appositamente. Negli esempi mostrati in fig. 1 il limite di velocità è riconosciuto come 85 miglia l'ora invece che 35, che è il limite di velocità imposto nei percorsi urbani negli Stati Uniti. Trovandosi in

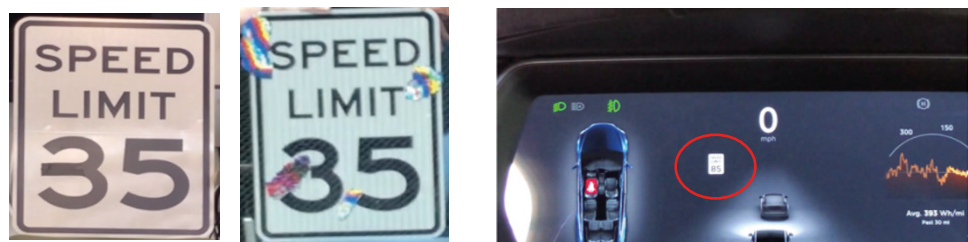


Figura 1. Esempi di cartelli stradali manomessi o usurati e riconoscimento improprio del sistema di visione (la velocità riconosciuta è evidenziata da un cerchio rosso) Gli esempi sono tratti dal riferimento a nota 5.

3. Dastin J, *Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women*, Reuters, 11 Ottobre 2018, <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-jobs-automation-insight-idUSKCN1MK08G>

4. Ziad O, Powers B, Vogeli C, Mullainathan S, *Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations*, Science, Volume 336: 447-453, 2019, DOI:10.1126/science.aax2342

5. Povolny S, *Model Hacking ADAS to Pave Safer Roads for Autonomous Vehicles*, McAfee, 2020, <https://www.mcafee.com/blogs/other-blogs/mcafee-labs/model-hacking-adas-to-pave-safer-roads-for-autonomous-vehicles/>

ambiente urbano, si può immaginare quali danni possa causare un veicolo a guida autonoma che interpreta non correttamente il limite di velocità. Possiamo evitare che questi problemi si presentino? Da un punto di vista tecnico, ogni sistema di IA viene valutato con degli esempi di test non utilizzati nell'apprendimento per misurare la sua accuratezza in termini di probabilità di commettere un errore. Conoscere questa probabilità, comunque, non ci permette di sapere né quando questo errore si verificherà né quali danni potrà causare. In sistemi critici, quali la guida autonoma, questo può limitare moltissimo l'impiego di sistemi basati sull'apprendimento automatico e richiede controlli adeguati. Normalmente, per poter validare la risposta prodotta da questi sistemi si utilizzano o altri sistemi basati su sorgenti di informazione diverse o la supervisione umana. Nell'esempio precedente, un sistema che utilizza la posizione del veicolo e le mappe con i limiti di velocità può confermare con certezza il risultato prodotto dal sistema di riconoscimento dei cartelli stradali.

La seconda categoria di rischi non è imputabile direttamente agli algoritmi di apprendimento automatico ma dipende da come l'IA viene utilizzata. Le potenzialità dell'IA, che già si sono evidenziate in questi ultimi anni e che nel futuro saranno ancora maggiori con l'evoluzione degli algoritmi e delle infrastrutture di calcolo, aprono scenari che possono effettivamente diventare pericolosi per gli individui e per la società. Per esempio, l'IA può essere utilizzata per analizzare i dati di utenti sui social media e creare contenuti personalizzati o annunci mirati per influenzare e manipolare il comportamento degli utenti. Oppure sistemi di sorveglianza basati sull'IA possono essere utilizzati per monitorare e tracciare le attività delle persone senza il loro consenso, minando la privacy individuale e i diritti umani.

Su questi aspetti non può che intervenire la regolamentazione per permettere un uso dell'IA che sia rispettoso degli esseri umani e dei principi che regolano la nostra società. La ricerca scientifica, tuttavia, continua ad avere un ruolo fondamentale anche nella regolamentazione: per riuscire a verificare che i sistemi di IA rispettino le regole, i sistemi devono essere progettati in modo tale che siano trasparenti, cioè siano capaci di spiegare chiaramente come prendono decisioni o producono determinati risultati.

I paesi dell'Unione Europea, come spesso accade quando si parla di diritti, si sono mossi in anticipo rispetto agli altri paesi nel mondo. Il 14 giugno 2023 il Parlamento Europeo ha approvato il regolamento (AI Act) che stabilisce regole armonizzate sull'IA⁶. Se da un lato nella relazione che accompagnava il regolamento viene ribadito che l'uso dell'IA può contribuire al conseguimento di risultati vantaggiosi dal punto di vista sociale e ambientale nonché fornire vantaggi competitivi fondamentali alle imprese e all'economia europea, dall'altro si afferma che il regolamento è particolarmente necessario in settori ad alto impatto, tra i quali figurano quelli dei cambiamenti climatici, dell'ambiente e della sanità, il settore pubblico, la finanza, la mobilità, gli affari interni e l'agricoltura. Gli obiettivi specifici che il quadro normativo proposto si prefigge di raggiungere sono: "1) assicurare che i sistemi di IA immessi sul mercato dell'Unione e utilizzati siano sicuri e rispettino la normativa vigente in materia di diritti fondamentali e valori dell'Unione; 2) assicurare la certezza del diritto per facilitare gli investimenti e l'innovazione nell'IA; 3) migliorare la governance e l'applicazione effettiva della normativa esistente in materia di diritti fondamentali e requisiti di sicurezza applicabili ai sistemi di IA; 4) facilitare lo sviluppo di un mercato unico per applicazioni di IA lecite, sicure e affidabili

6. Parlamento Europeo, AI ACT, https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0236_IT.html

nonché prevenire la frammentazione del mercato”. Il Regolamento è l’atto conclusivo di un percorso iniziato qualche anno prima e che aveva visto un passo fondamentale l’8 aprile 2019 con la pubblicazione del documento “Orientamenti Etici per un’IA affidabile” da parte del gruppo di esperti sull’IA istituito dalla Commissione Europea nel 2018⁷. Questo documento raccoglieva più di 500 commenti ricevuti attraverso una consultazione aperta sulla prima versione pubblicata nel 2018.

Il documento promuove un’IA affidabile basata su tre componenti che dovrebbero essere presenti durante l’intero ciclo di vita del sistema: a) legalità, b) eticità e c) robustezza. Nel documento, sono presentate indicazioni per sviluppare sistemi di IA affidabile, proponendo sette requisiti sistemici, individuali e sociali, che dovrebbero essere soddisfatti (fig. 2): 1) intervento e sorveglianza umani; 2) robustezza tecnica e sicurezza; 3) riservatezza e governance dei dati; 4) trasparenza; 5) diversità, non discriminazione ed equità; 6) benessere sociale e ambientale; 7) verificabilità. Gli esempi di sistemi presentati precedentemente ovviamente non avrebbero soddisfatto questi requisiti.

Come sta rispondendo la comunità scientifica italiana alla necessità da un lato di essere all’avanguardia nella ricerca sull’IA e dall’altro di produrre sistemi conformi con l’IA Act e con gli orientamenti etici?

Il PNRR ha finanziato per tre anni a partire dall’inizio del 2023 con 122 milioni di euro il progetto nazionale “Future Artificial Intelligence Research (FAIR)”, coordinato dal CNR⁸. FAIR si pone l’obiettivo di “contribuire ad affrontare le domande di ricerca, le metodologie, i modelli, le tecnologie e anche le regole etiche e legali per costruire sistemi di Intelligenza Artificiale capaci di interagire e collaborare con gli umani, di percepire ed agire all’interno di contesti in continua evoluzione, di essere coscienti dei propri limiti e capaci di adattarsi a nuove situazioni, di essere consapevoli dei perimetri di sicurezza e fiducia, e di essere attenti all’impatto ambientale e sociale che la loro realizzazione ed esecuzione può comportare”, come descritto nel sito del progetto. L’università di Pisa, cui afferisce l’autore, coordina una (l’unità 1) delle 10 unità operative (denotate spoke) del progetto. In particolare, lo spoke 1 si sta concentrando sulla IA centrata sull’essere umano, che ha l’obiettivo di sviluppare e implementare soluzioni di IA che siano etiche, trasparenti, comprensibili e che migliorino la vita delle persone, senza compromettere i loro diritti, privacy o sicurezza. Lo spoke 1 ha una forte focalizzazione multidisciplinare, con sinergie tra intelligenza artificiale, interazione uomo-computer, scienze cognitive, sistemi complessi, matematica, etica, diritto e scienze sociali. All’interno dello spoke il



Figura 2. I sette requisiti che dovrebbero essere soddisfatti da un sistema di AI secondo il gruppo di esperti sull’IA istituito dalla Commissione Europea nel 2018.

7. Commissione Europea, *Ethics guidelines for trustworthy AI*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

8. *Future Artificial Intelligence Research*, Progetto finanziato dalla Commissione Europea nel programma NextGeneration EU, <https://future-ai-research.it/>

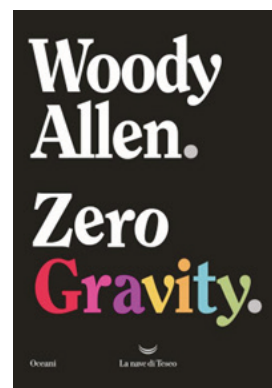
gruppo di ricerca sull'IA del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, coordinato dall'autore, sta sviluppando algoritmi di apprendimento federato di modelli trasparenti di IA. L'apprendimento federato consente di addestrare modelli di apprendimento automatico su dispositivi locali o in nodi distribuiti, senza la necessità di inviare i dati grezzi a un server centrale, così preservando la privacy dei dati. L'approccio proposto soddisfa i requisiti 3 e 4 descritti negli Orientamenti Etici per un'IA affidabile e il suo sviluppo è iniziato all'interno del progetto Europeo Hexa-X⁹. Il gruppo è stato selezionato come Key Innovator dall'Innovation Radar della Commissione Europea per questo contributo innovativo. Il gruppo sta anche portando avanti la sua ricerca su modelli di IA trasparenti e apprendimento federato all'interno del progetto FoReLaB (Future-Oriented REsearch LABoratory), finanziato dal Ministero dell'Università e Ricerca (MUR) nell'ambito del bando *Dipartimenti di Eccellenza*¹⁰. Il progetto si pone l'obiettivo di sviluppare nuove metodologie, paradigmi e tecnologie abilitanti per il nuovo paradigma dell'Industria 5.0.

Concludendo, l'IA appare oggi una tecnologia di cui non possiamo più fare a meno visti gli enormi progressi che ha permesso di raggiungere in vari settori con impatti positivi nella nostra vita di tutti i giorni. Tuttavia, come è stato descritto, l'IA ha dei rischi e il suo utilizzo massivo richiede attenzione e controllo. Se da un lato l'Unione Europea si è mossa già verso la regolamentazione dei sistemi basati sull'IA, in modo da limitarne l'uso improprio, dall'altro la ricerca deve cercare di sviluppare nuovi algoritmi e metodi per consentire di rendere i modelli di IA sviluppati sempre più performanti ma anche più robusti, trasparenti e meno soggetti a pregiudizi e distorsioni presenti nei dati di apprendimento. ●

9. Merluzzi M et al., *The Hexa-X project vision on Artificial Intelligence and Machine Learning-driven Communication and Computation co-design for 6G*, IEEE Access, Volume 11: 65620-65648, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3287939

10. Progetto FoReLaB, finanziato dal Ministero dell'Università e Ricerca (MUR) nel bando *Dipartimenti di Eccellenza*, <http://forelab.unipi.it>

Le macchine intelligenti di Woody Allen



Woody Allen, *Zero Gravity* La nave di Teseo, 2022

Lo scorso anno Woody Allen è tornato a deliziarci con una raccolta dei suoi spiazzanti raccontini. I maligni diranno che sta ripulendo vecchi cassette riempi di appunti in gioventù, per la serie “non si butta via niente”, ma bisogna concedergli che, oltre a risultare comunque divertente, si tiene molto aggiornato. Un racconto, in particolare, *Quando sul cofano della macchina c'è Nietzsche*, ce lo mostra all'avanguardia in materia di tecnologia e di filosofia. In campo tecnologico il nostro vispo ottantasettenne si misura con l'intelligenza artificiale, niente di meno, applicata in questo caso alle automobili: “non solo le furbe scatolette di latta non hanno più bisogno di essere guidate da qualcuno, ma si parla ormai di vetture con cervelli in grado di compiere scelte morali”. Ed eccoci quindi alla filosofia, con la quale Woody Allen non è mai stato tenero. Qui prende di mira l'ultima moda dell’“etica utilitaristica” declinata all'americana, che riduce l'idea di Bentham secondo cui un'azione è buona (cioè utile) se produce il più alto grado di felicità per il maggior numero di persone a un esercizio su bislacchi dilemmi (ammazzo un uomo grasso o due uomini magri?) o a riflessioni sui danni collaterali (non a caso questa materia viene insegnata nelle accademie militari) di improbabili comportamenti. Così appunto ragiona l'automobile intelligente protagonista del racconto: tiro sotto la vecchietta che attraversa la strada o affronto il rischio di una sbandata che potrebbe danneggiare il mio proprietario? Invece un musicista che suona il violoncello in modo sublime o due balordi gonfi di birra?

Alla fine, destinata ormai alla rottamazione, la colta e intelligente automobile ci congeda con un suggerimento: “la prossima volta che comprate una macchina, diffidate di quelle in grado di discutere di Leibniz o Novalis. Scegliete quelle che hanno più spazio per le gambe e consumano meno”.

Maria Turchetto

L'intelligenza artificiale che previene il mal di schiena

Francesco Pistolesi

When sitting at your office desk, have you ever realized how your posture is gradually deteriorating due to those long hours in front of the computer? Statistics don't lie: an increasing number of people are grappling with musculoskeletal issues from a sedentary lifestyle and poor posture. According to a recent study, over 70% of office workers report posture-related problems, which are a leading cause of work absenteeism. Can artificial intelligence (AI) come to our rescue? Absolutely. Is AI spying on us to achieve this? Absolutely not. Today's technological advancements can safeguard our well-being and fend off musculoskeletal disorders without violating our privacy. No cameras, no prying eyes. Just an invisible laser beam, a touch of computational wizardry, and voilà – the solution is at hand.

Keywords: *Artificial intelligence, Industry 5.0, Posture detection, Privacy*

Se lavori per tanto tempo alla scrivania, la tua postura non sarà certo impeccabile. Non ci credi? Scivolare sulla sedia allungando le gambe, ingobbirsi sui fogli, reclinare lo schienale per leggere lo schermo in posizione semi-sdraiata... Ti è sicuramente capitato. Giorno dopo giorno, queste cattive abitudini aumentano il rischio di sviluppare patologie muscolo-scheletriche: una fra tutte, il *mal di schiena*. Il mal di schiena è causato prevalentemente da una cattiva postura. La nostra società, sempre più tecnologica, ci vede ogni giorno seduti a una scrivania, davanti al computer. Col tempo, ciò causa infiammazioni e contratture ai muscoli di collo e schiena.

In Europa, un lavoratore su quattro soffre di mal di schiena o disturbi muscolo-scheletrici le cui principali cause sono la movimentazione di carichi pesanti e la cattiva postura. Nel mondo, sono 540 milioni di lavoratori. Però se ne parla poco, non è una cosa che fa notizia, che racimola clic, che va in tendenza. Non ci facciamo proprio caso a come stiamo seduti. Eppure, arriva un giorno in cui iniziamo ad avvertire quegli inspiegabili fastidi alla schiena, alla spalla, al collo. Vanno e vengono. Diamo la colpa al climatizzatore, al finestrino dell'auto spalancato nel meriggio d'agosto, quando disperatamente cerchiamo di diminuire la temperatura dell'abita-



colo, trasformato in una fornace. Oppure sì, abbiamo fatto uno sforzo per spostare il mobiletto del bagno, mentre ritinteggiavamo le pareti. Poi però quei doloretto diventavano sordi, insistenti. Si insidiano nei pertugi più reconditi. Con qualche antidolorifico preso qua e là, se ne vanno. Finché ci ritroviamo a convivere con quel dolore, che piano piano ci porta a saltare giorni di lavoro, a non sopportare più qualsiasi posizione. Si arriva a star male davvero.

Il movimento e la corretta postura sono cruciali per la salute di ossa, muscoli e articolazioni. Non siamo progettati per trascorrere 7-8 ore al giorno dormendo, e ulteriori 8 ore seduti, magari in posizioni scorrette. Facendo due semplici conti, se consideriamo 40 anni di lavoro, stiamo quasi 27 anni della nostra vita lavorativa praticamente immobili: quasi il 70% del tempo. Detta così fa notizia, però.

L'ultima "rivoluzione industriale", la cosiddetta *Industry 5.0*, mette al centro la persona e il suo benessere. È un approccio "human-centric", focalizzato cioè sul fattore umano. Ecco che, dopo l'enorme progresso dei processi produttivi raggiunto da *Industry 4.0*, lo spotlight ruota finalmente sulle persone, sulla loro sicurezza e sul loro benessere.

Quando si sta seduti, le nostre gambe hanno un ruolo fondamentale nella postura. È naturale che non stiamo lì a guardarci le gambe durante la giornata. Se lo facessimo, noteremmo per esempio che stiamo a lungo in posizione semi-sdraiata, oppure con le gambe accavallate. La posizione seduta semi-sdraiata, con le gambe distese in avanti, e magari con i piedi incrociati, è indubbiamente comoda. Ma la schiena? La posizione della schiena è strettamente correlata a quella delle gambe. Semplificando, possiamo dire che la posizione delle gambe aiuta a ricavare infor-

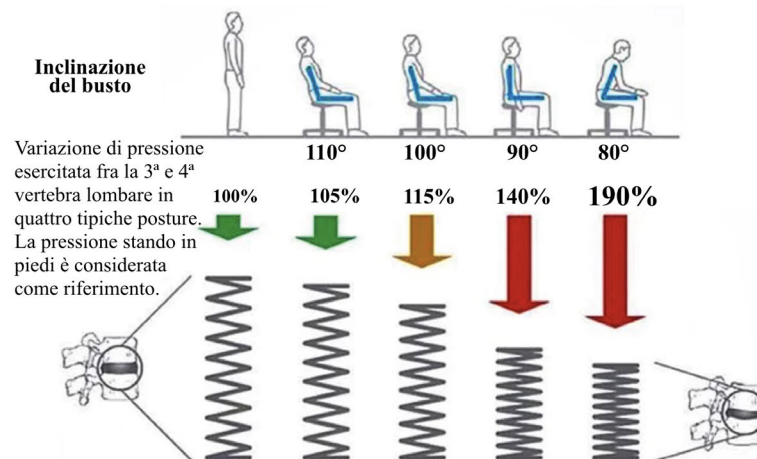


Figura 1. Posture del busto e loro effetto sui dischi intervertebrali. La posizione del busto è influenzata da quella delle gambe.

mazioni sulla torsione del busto, la sua inclinazione e la sua asimmetria. Per esempio, quando stiamo in posizione semi-sdraiata o protesa in avanti, la schiena si incurva in modo incongruo. In mancanza di un sostegno lombare, le vertebre si posizionano in modo innaturale, in una forma ad arco che compromette la normale e uniforme distribuzione del peso, aumentandone l'entità, come mostrato in fig. 1.

Moltissime persone amano poi stare sedute a lungo con le gambe accavallate, magari alternando la posizione delle gambe. Ma anche accavallare le gambe sbilancia la colonna vertebrale. Di conseguenza, il peso si distribuisce in maniera disordinata sui dischi intervertebrali, i muscoli lombari stanno in tensione, il bacino storto, le spalle storte: un vero disastro. Tutte queste cattive abitudini contribuiscono a innalzare spiccatamente il rischio di malattie muscolo-scheletriche nel lungo periodo.

Ma come fa l'intelligenza artificiale a controllare se stiamo seduti correttamente? Ci sono molte soluzioni più o meno accurate. Il loro principale difetto è richiedere al lavoratore di essere costantemente filmato. Insomma, essere all'interno di una sorta di Grande Fratello, per tutta la giornata lavorativa. Per di più, le parti del corpo da filmare sono spesso parti sensibili.

Le nuove tecnologie offrono strumenti capaci di calcolare la distanza fra un dispositivo e i punti attorno a sé. Una di queste è la tecnologia *LiDAR*,

acronimo dall'inglese *Laser imaging Detection and Ranging*. Il funzionamento è simile a quello del sonar o del radar, ma al posto delle onde sonore o radio, il LiDAR utilizza *impulsi laser*. Un dispositivo LiDAR 2D¹ è dotato di un emettitore e un sensore posizionati su un disco rotante. L'emettitore genera brevi impulsi di luce laser in rapida successione, mentre ruota. Gli impulsi colpiscono oggetti, superfici o qualsiasi cosa nell'ambiente circostante. Quando ciò si verifica, una parte della luce viene riflessa e ritorna al sensore, che la cattura. Il dispositivo misura il tempo che la luce impiega a percorrere il tragitto di andata e ritorno. Poiché la velocità della luce è costante, questo tempo può essere convertito in una distanza molto precisa. Misurando i tempi di ritorno di tutti questi impulsi e combinando queste informazioni, il LiDAR 2D crea una mappa bidimensionale dettagliata del contorno degli oggetti circostanti. Immaginiamo di essere in una stanza buia e di usare una torcia per inviare rapidi lampeggi di luce in varie direzioni. Osservando i punti in cui i lampeggi colpiscono le pareti o gli oggetti, puoi capire la forma e la distanza delle cose intorno a te. Il LiDAR 2D fa la stessa cosa, ma con impulsi laser veloci e precisi.

Questa tecnologia è oggi usata in vari ambiti, come per esempio la mappatura topografica, la robotica industriale, la guida autonoma dei veicoli e la conservazione dell'ambiente. Quindi, perché non usarla anche in ufficio? Sarebbe estremamente d'aiuto, specie in ottica di *ergonomia*, una disciplina dedicata alla progettazione e organizzazione di ambienti di lavoro adatti alle esigenze, alle capacità e al comfort delle persone. Lo scopo dell'ergonomia è migliorare l'efficienza, la sicurezza e il benessere degli individui durante le attività quotidiane. Uno dei suoi obiettivi principali è proprio occuparsi di come il corpo umano si muove e interagisce con gli oggetti, cercando di minimizzare *posture incongrue* o movimenti

innaturali che causano affaticamento, lesioni e disturbi muscolo-scheletrici a medio-lungo termine. Per una buona postura, la normativa e standard internazionale ISO 11226² stabiliscono che le gambe debbano essere parallele, e i piedi paralleli e ben saldi a terra. Il LiDAR 2D può effettuare scansioni delle gambe e, diversamente dalle tecnologie basate su telecamere, può farlo rispettando la privacy del lavoratore. Questo perché il LiDAR 2D è in grado di generare solo una linea che porta con sé la sola informazione posturale. Nell'ottica human-centric di Industry 5.0, il rispetto della privacy, del benessere e dei diritti dei lavoratori è fondamentale. E gli approcci basati su telecamere non possono garantire una sicurezza al 100%. Si pensi, per esempio, al caso di un'intrusione nei sistemi informatici di un'azienda. I video dei lavoratori potrebbero essere trafugati, divulgati e rivenduti per scopi malevoli. Si va dall'uso improprio non autorizzato, fino alla generazione di deep fake, specie se i video inquadrano parti sensibili del corpo, come nel caso della valutazione della postura.

La tecnologia LiDAR 2D è invece rispettosa della privacy; usando l'anglicismo in voga, diremmo che è *privacy-preserving*. Tuttavia, il solo dispositivo non è capace di capire come sono posizionate le nostre gambe. Per farlo, entra in gioco l'intelligenza artificiale. È lei che deve fare lo sforzo di abbinare una semplice linea generata dal LiDAR 2D – quella formata dai puntini neri nella scansione a destra, in fig. 2 – alla corrispondente postura delle gambe. Come lo fa? Tramite un processo di *apprendimento supervisionato*, un termine un po' ispido che in realtà fa riferimento a un processo semplice, a cui abbiamo partecipato tutti noi, fin da bambini. Non siamo infatti stati programmati dai nostri genitori tramite una porta USB. Ci è stata ripetuta mille volte la parola *mamma* e alla fine – forse anche un po' per disperazione – tutti l'abbiamo detta. Poi, abbia-

1. Con 2D, si indica un dispositivo che lavora in due dimensioni. Esistono anche dispositivi LiDAR 3D che generano mappe tridimensionali dell'ambiente circostante.

2. ISO 11226:2000 *Ergonomics - Evaluation of static working postures*, International Organization for Standardization.

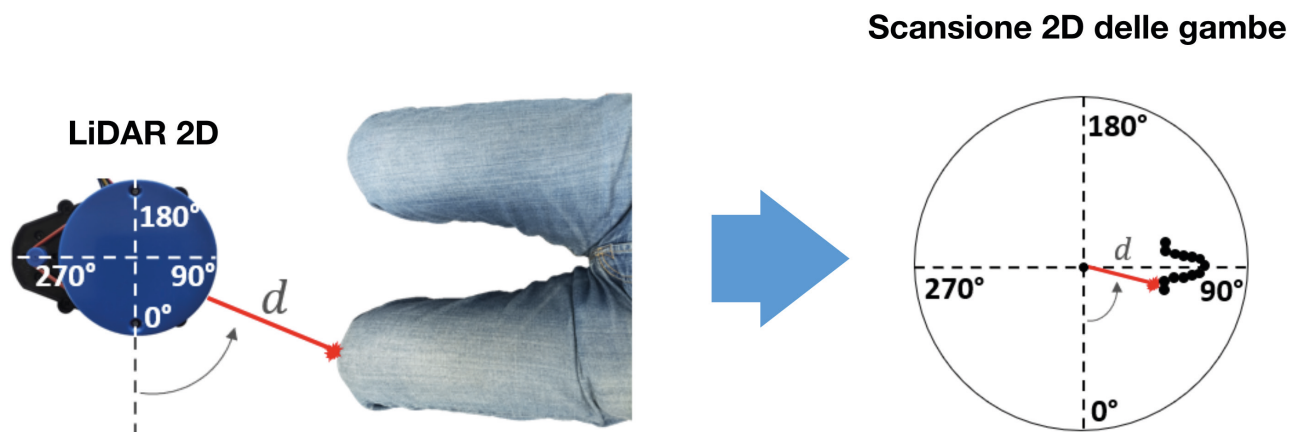


Figura 2. Un dispositivo LiDAR 2D (a sinistra) di fronte alle gambe di un lavoratore. La figura mostra un impulso laser (in rosso) che colpisce il ginocchio del lavoratore dopo aver percorso una distanza d . Il tempo che l'impulso impiega a percorrere la distanza d consente al dispositivo di calcolare e memorizzare la distanza fra il sensore e il ginocchio. A destra, la scansione delle gambe ottenuta dal dispositivo. Il profilo delle gambe è formato dai piccoli cerchi neri.

mo capito cos'era una pallina, un orsacchiotto, una penna. Tutto questo perché ci sono state mostrate tante palline diverse e ogni volta ci veniva detto che erano palline. E così anche per gli orsacchiotti e le penne. Se, di fronte a una pallina colorata, alla domanda “*Che cos'è?*” avessimo risposto “*orsacchiotto*”, avremmo ricevuto un sonante “*No!*”. L'apprendimento supervisionato avviene quindi sotto l'occhio vigile di “qualcuno” che ti dice se sbagli o fai bene. Nel caso del riconoscimento della postura, al posto di palline e orsacchiotti abbiamo i diversi profili delle gambe generati dal LiDAR 2D. L'intelligenza artificiale ha solo bisogno di qualcuno che le “mostri” una scansione LiDAR 2D e le chieda qual è la posizione delle gambe. Se la risposta è sbagliata, lei lo capisce e modifica le sue connessioni interne affinché, la prossima volta, di fronte alla stessa scansione delle gambe, non sbagli più ad associarla alla relativa postura. L'intelligenza artificiale imita l'apprendimento del cervello umano, imparando gradualmente a quale posizione delle gambe corrisponde ciascuna scansione LiDAR 2D. E poi non sbaglia più, o comunque sbaglia raramente.

Un recente studio³ effettuato presso il Dipartimen-

to di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa, pubblicato sulla rivista IEEE Embedded Systems Letters, ha coinvolto 30 lavoratori (15 uomini e 15 donne), monitorandone la posizione delle gambe durante la giornata lavorativa alla scrivania. Il sensore LiDAR 2D ha effettuato costantemente scansioni dei profili delle gambe. Grazie a un video registrato da una microcamera, le scansioni LiDAR sono poi state associate a un'etichetta riportante la postura delle gambe⁴. La fig. 3 mostra le posizioni delle gambe considerate dallo studio, in quanto più ricorrenti. Queste scansioni e le corrispondenti etichette sono state usate per insegnare a un sistema intelligente a riconoscere la postura, raggiungendo una precisione del 99.2%: solo 8 scansioni su 1000 non sono associate alla giusta postura. Facendo un semplice calcolo, per rilevare la posizione delle gambe di un lavoratore ogni minuto, occorrono poco meno di 500 scansioni al giorno, quindi solo quelle relative a 4 minuti delle 8 ore lavorative potrebbero essere associate dal sistema alla postura sbagliata: una precisione ragguardevole. Insomma, possiamo dire che, ogni minuto, il sistema sa come sono posizionate le nostre gambe, non si sgarra!

3. Pistolesi F, Baldassini M, Lazzerini B, *Are You Sitting with Good Posture? Tracking the Position of the Legs via*

2D LiDAR, IEEE Embedded Systems Letters, 2022.

4. Questo processo è detto *eti-*

chettatura (nel linguaggio tecnico, *labeling*) e serve per preparare i dati usati nel processo di apprendimento dell'intelligenza

artificiale, dove questa, se sbaglia ad associare la scansione alla postura, viene corretta, “mostrandole” l'etichetta.

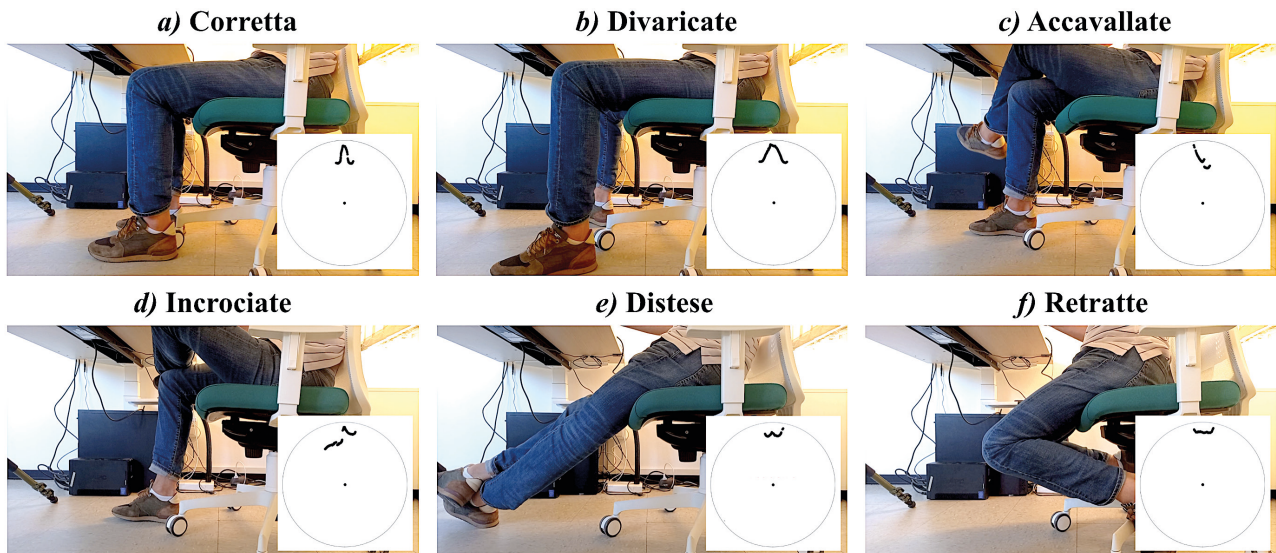


Figura 3. Sei tipiche posizioni delle gambe durante il lavoro alla scrivania. Com'è facile intuire, la schiena "segue" la posizione delle gambe. Se questa non è quella corretta (posizione 'a', in alto a sinistra), molto probabilmente non lo sarà nemmeno la posizione della schiena, con conseguente aumento del rischio di mal di schiena e disturbi muscolo-scheletrici nel tempo.

Lo studio ha poi mostrato com'è possibile sfruttare le rilevazioni del sistema per migliorare la postura dei lavoratori. In particolare, è stato realizzato un "cruscotto" che gli ingegneri della sicurezza possono visualizzare per capire quali lavoratori sono più a rischio di sviluppare mal di schiena, ma anche altre patologie muscolo-scheletriche. Un esempio di questo cruscotto è mostrato in fig. 4, relativamente a un lavoratore che ha partecipato al test del sistema⁵. Come si vede dalla figura, il cruscotto mostra due grafici intuitivi che aiutano gli ingegneri della sicurezza a valutare agevolmente il rischio posturale del lavoratore. Il grafico in alto mostra una linea arancione che indica la posizione delle gambe del lavoratore durante la giornata. Naturalmente, il rischio del lavoratore sarebbe nullo se mantenesse le sue gambe nella posizione *a* per la maggior parte del tempo: ma così non è. Si può infatti notare che, già durante la prima ora, il lavoratore alterna tre posizioni (*a*-corretta, *b*-gambe divaricate, ed *e*-gambe di-

stese). Anche nelle restanti ore della giornata, il lavoratore cambia spesso posizione. Questo è comunque positivo perché il rischio posturale cresce all'aumentare del tempo trascorso in una data postura scorretta, ma se si cambia frequentemente posizione (come mostra il grafico) siamo di fron-

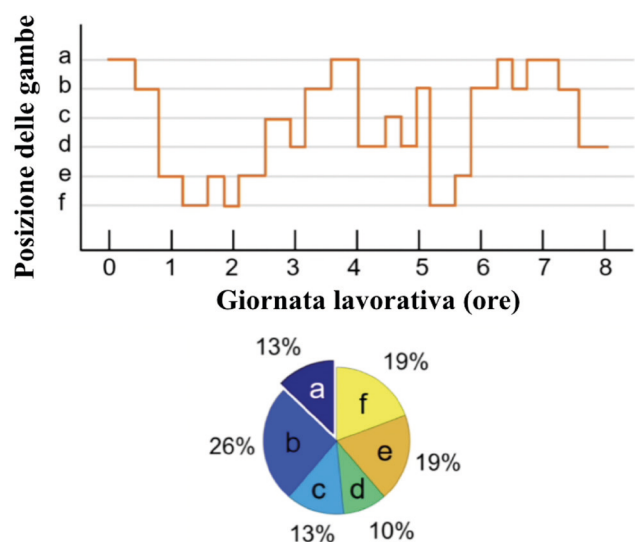


Figura 4. Evoluzione temporale della posizione delle gambe durante la giornata lavorativa (sopra) e percentuale di tempo trascorsa in ogni postura (sotto).

5. La fase di test è il banco di prova. Il processo di apprendimento è terminato, e l'intelligenza artificiale ha a che

fare con lavoratori di cui non ha mai visto alcuna scansione LiDAR delle gambe. Se ha imparato, non sbaglierà.

te a una situazione di lavoro altamente dinamica, e il rischio diminuisce. Ciò è anche evidente dal grafico a torta in fig. 4, dove l'ampiezza di ogni settore è tanto maggiore quanto più tempo il lavoratore trascorre nella corrispondente postura⁶. Come si vede, non c'è un settore predominante; non vi è quindi una particolare postura incongrua, mantenuta molto a lungo, che necessita di essere corretta. Comunque, durante la giornata, il lavoratore mantiene la posizione corretta solo per il 13% del tempo: poco più di un'ora su otto, nel complesso. Questa "fotografia" del comportamento posturale è generata per ogni lavoratore, consentendo di intervenire in modo mirato per correggere le cattive abitudini posturali.

Ogni giorno, l'intelligenza artificiale sa quali sono i lavoratori che devono stare di meno con le gambe accavallate, e quali invece devono imparare a non distendere di continuo le gambe, scivolando sotto la scrivania e costringendo la loro povera schiena a posture circensi. Non solo. L'intelligenza artificiale sa anche quali sono i lavoratori posturalmente più virtuosi: per loro, non è necessaria alcuna formazione aggiuntiva a quella obbligatoria per legge.

Una tecnologia di questo tipo è largamente accessibile, anche alle piccole e medie imprese e alle microimprese (quelle con meno di dieci dipendenti), che in Italia sono la maggioranza. Si pensi che l'hardware richiesto costa poco più di 50 euro.

Per avere un'idea dei costi e benefici, facciamo un semplice esempio. Un'azienda con venti dipendenti sosterebbe un investimento esiguo, una tantum, di soli 1000 euro, in grado di assicurarle un abbattimento dei ragguardevoli costi relativi alle indennità di malattia. Queste indennità ammontano infatti al 50% della retribuzione media globale giornaliera percepita dal lavoratore nel periodo mensile immediamen-

te precedente l'inizio della malattia, per i primi 20 giorni; al 66.66% della retribuzione media giornaliera di cui sopra, dal 21° giorno. Inoltre, l'azienda non sarebbe costretta a perdere commesse di lavoro dovute a carenza di personale, in quanto in malattia. Infine, anche i costi dovuti alla formazione sulla sicurezza potrebbero essere drasticamente ridotti. Sapendo infatti a priori quali sono le cattive abitudini da correggere, si interverrebbe solo laddove necessario, con misure personalizzate. I giorni di assenza dal lavoro si ridurrebbero incrementalmente, con beneficio sia per la produttività che per il benessere dei lavoratori.

Insomma, l'intelligenza artificiale ci potrà davvero aiutare a prevenire il mal di schiena nei moderni posti di lavoro dell'Industry 5.0. Sarà presto un'alleata immancabile e instancabile che ci consentirà di imparare il valore della buona postura, tramite il benessere che, giorno dopo giorno, ci aiuterà a raggiungere, rispettando incondizionatamente la nostra privacy. ●



6. Le posizioni delle gambe indicate con le lettere da *a* ad *f* sono quelle mostrate in fig. 3.

ritratto di famiglia

Pulicidae

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 Pulicidae, appartenente all'ordine Aphaniptera (detto anche Siphonaptera), che comprende ben 2600 tra specie e sottospecie.

L'argomento non è dei più gradevoli, ma se ne comprende l'importanza considerando che secondo gli epidemiologi i circa 3000 casi di peste denunciati nel mondo potrebbero essere in realtà decine di volte più numerosi. A parte i casi sporadici, che riguardano quasi tutti i paesi, USA compresi, i focolai di infezione, lungi dall'essere estinti, si manifestano in epidemie recenti, avvenute a Surat in India nel 1994, in Algeria nel 2003, in Congo nel 2006 e in Madagascar nel 2014. Non si hanno tuttavia sufficienti informazioni da diversi paesi dove si registrano casi di peste, sia perché hanno strutture sanitarie insufficienti ed inefficienti, sia per proteggere i loro commerci ed il loro turismo. La peste bubbonica è al momento assente in Europa e in Australia, ma continua ancora a mietere vittime in Asia e in alcune zone dell'America e dell'Africa. I traffici internazionali, i flussi migratori, la movimentazione planetaria di persone ed animali, ecc. determinano la diffusione antropocora di epidemie, come abbiamo sperimentato con quella del Covid-19. Non si tratta soltanto di pericoli che possono provenire da cose o da persone che arrivano da paesi poveri, a bassissimo o nessun tasso di sicurezza sanitaria, persone costrette a migrare per le condizioni disperate delle loro esistenze. Il pericolo non è soltanto di provenienza esotica. La peste è una malattia dei roditori e altri animali selvatici, che poi contagiano quelli che vivono presso gli umani, portati a migrare verso i centri abitati a causa dei pe-

riodi di siccità – e il riscaldamento globale allarga enormemente le aree della siccità.

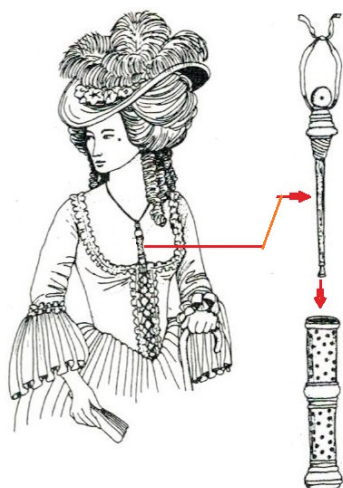
A ben vedere, noi siamo i discendenti di coloro che sono sopravvissuti alle pandemie passate. Le pulci hanno afflitto l'umanità per millenni, senza distinzioni di razze o classi sociali e, anche se il progresso tecnico ed igienico sembra averle allontanate dai paesi a maggior benessere, sono tuttavia sempre pronte a riprendere il loro ruolo storico. Le pulci sono i vettori della peste che nel passato ha sterminato centinaia di milioni di persone, “cosa che non è ancora riuscita all'uomo stesso – osserva Tremblay – nonostante la sua mania inesauribile di autoannientamento ed i suoi mezzi di distruzione”.

Le pulci sono insetti di un ordine (Aphaniptera, dal greco ἀφανής, invisibile e latino scientifico *pterus*, ala, dette anche Siphonaptera) che comprende ben 2600 tra specie e sottospecie, raggruppate in 15 famiglie ed appartenenti a 5 linee evolutive. Le loro affinità con altri insetti sono oscurate da caratteri che si sono modificati nel corso della loro evoluzione (apomorfie) e derivati dall'adattamento parassitario. Si pensa che le pulci derivino da Mecotteri (mosche scorpione). Sono ematofaghe da adulte e detritivore da larve, e sono note per la loro abilità a spiccare salti. La famiglia che ha particolarmente infestato l'Europa è *Pulicidae*.

Le pulci si nutrono aspirando sangue dai loro ospiti e con la puntura, il rigurgito e le feci gli adulti possono trasmettere affezioni virali, batteriche, protozoarie. Le loro feci, se ingerite inavvertitamente dall'uomo, cane, gatto, ecc., possono trasmettere alcune Tenie (*Dipylidium caninum*, *Hymenolepis diminuta*), di cui si infettano le larve delle pulci ingerendone le uova provenienti dall'intestino di topi, cani, gatti, ecc. Ugualmente sono capaci di propagare la leishmaniosi infantile (o anemia splenica infantile) provocata dal protozoo flagellato *Leishmania infantum* e diffusa nel bacino del Mediterraneo.

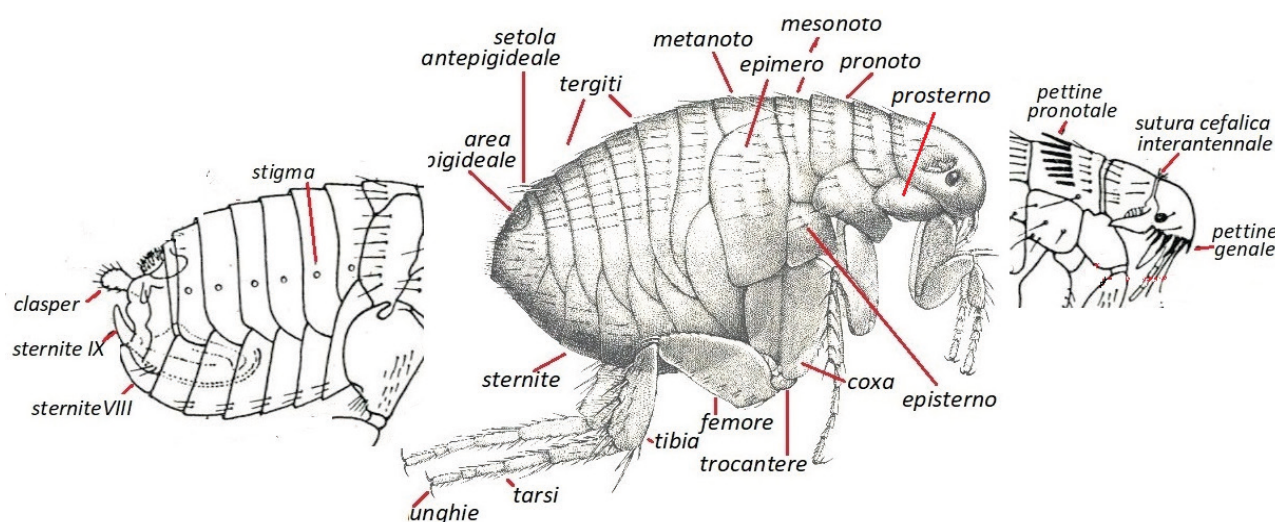
Le malattie ancora più pericolose trasmesse dalle pulci sono il tifo murino, dovuto a *Rickettsia typhi* e *Rickettsia felis* (batteri intracellulari Gram-negativi), e la peste bubbonica, dovuta al bacillo *Yersinia pseudotuberculosis* (scoperto da Yersin e Kitasato nel 1894). Di entrambe queste ultime due malattie sono responsabili solo gli adulti, i quali trasmettono il contagio o con il rigurgito, durante la puntura (peste), o attraverso le feci ed il grattamento (tifo murino).

La puntura delle pulci di solito è una macchiolina scura al punto di penetrazione degli stiletto (*purpura pulicosa*), circondata da una chiazza di pelle rossastra e talora rigonfia (*roseola pulicosa*) che scompare rapidamente. Ha effetti che dipendono dalle reazioni individuali; talvolta si possono pre-



Dama del '700 che porta al collo una “trappola per pulci”. La trappola è composta da un astuccio perforato ed uno stilo adesivo. Simili trappole venivano portate tra gli indumenti intimi. Le pulci, penetrate attraverso i fori dell'astuccio, dovevano rimanere incollate sullo stilo. È probabile che, tra e tante pulci che allora affliggevano anche i nobili, qualcuna potesse finire catturata in questa strana trappola.

Quanto fosse sottovalutato il pericolo costituito dalle pulci ci è mostrato dalla letteratura ironica del secolo XVI scritta su di loro. Gutierre de Cetina scrisse un poema, *La Pulga*, e Mathias Holtzwardt il famoso poema *Caccia alle pulci*, la cui seconda parte fu scritta da Johannes Fischart. Le pulci ammaestrate ebbero particolare fortuna nelle fiere, addestrate a particolari esercizi come il traino di minuscole carrozze o il movimento di piccole giostre: infatti esse possono trainare un peso pari ad 80 volte il loro. I “domatori” facevano perdere alle pulci l'abitudine al salto rinchiodandole per molto tempo in scatole basse.



sentare anche reazioni ipertensive a cui può seguire, nel tempo, uno stato di non reattività. L'effetto psicologico, dovuto all'imbrattamento degli indumenti intimi con il tipo di feci non digerite e destinate al nutrimento delle larve, può divenire una psicosi in cui il paziente vede ectoparassiti dappertutto.

La trasmissione della peste può avvenire anche per il rigurgito di sangue infetto nella puntura. Il tratto digerente delle pulci infette si ostruisce in conseguenza della moltiplicazione dei batteri e, quando le pulci cercano di succhiare, il sangue fluisce all'indietro, verso l'ospite, portando con sé alcuni germi dall'intestino. Poiché nessun cibo può oltrepassare il blocco, le pulci divengono "affamate" e cercano di nutrirsi molto più frequentemente.

Il bacillo si presenta come un organismo polimorfo, assume forme diverse a seconda dell'ambiente di coltura: catenelle simili a streptococchi nel sangue e nei liquidi organici; in preparazione presenta colorazione bipolare, gram-negativo, aerobio, asporigeno, immobile, capsulato.

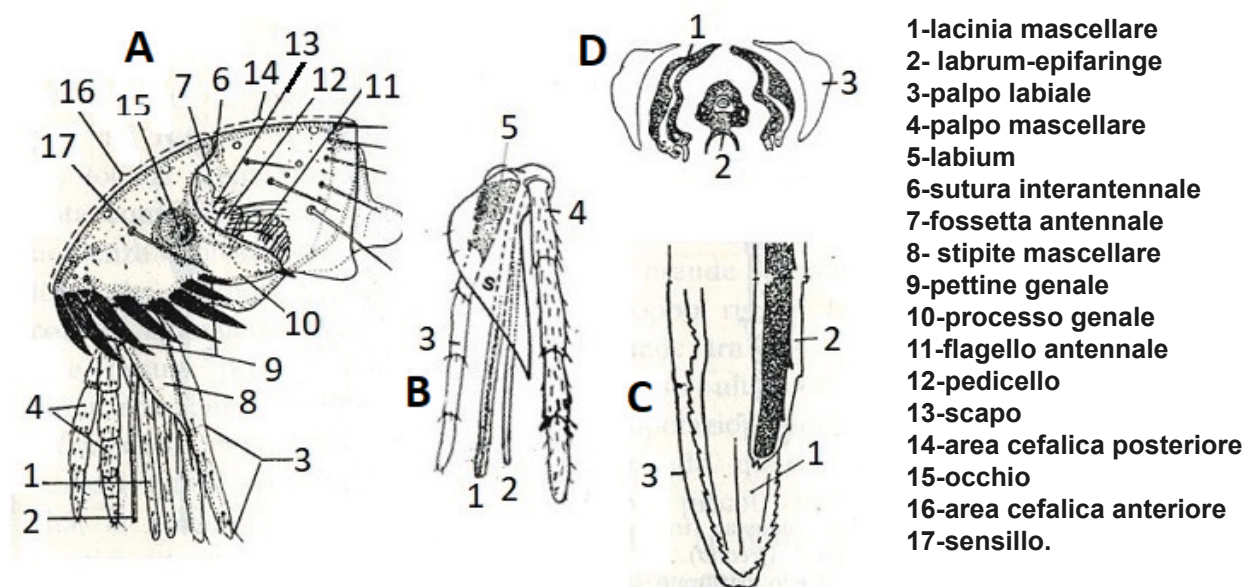
Tra gli umani la peste si diffonde con tre modalità: a) *peste bubbonica*, localizzata nelle ghiandole linfatiche, specialmente in quelle ascellari ed inguinali, che si rigonfiano divenendo bubboni che possono suppurarsi e rompersi rilasciando pus pastoso nel quale pullulano i bacilli; b) *peste polmonare*, che accanto ai soliti segni di infezione provoca una gravissima polmonite o

broncopolmonite, spesso doppia, quasi sempre mortale in poche ore; c) *peste setticemica* (morte nera), sempre mortale, spesso accompagnata da emorragie di quasi tutte le mucose con epistassi, melena, ematemesi (emorragie nasali, intestinali, gastriche); invade il circolo sanguigno e determina necrosi dei tessuti ed imbrunimento della pelle. Le tre forme di peste non sono da considerarsi entità nosologiche rigorosamente distinte, poiché una forma può trasformarsi o complicarsi con una delle altre. Il decorso è sempre rapido, qualunque ne sia la forma e diviene rapidissimo o addirittura fulminante (morte in poche ore) nei casi di peste setticemica.

Le pulci sono prive di ali per adattamento al loro regime di vita. Le antenne (2 grossi articoli basali e 9 articoli flagellari di aspetto lamellare) sono raccolte in due fossette, da cui sono fatte uscire in caso di necessità. Il capo forma con l'asse del corpo un angolo acuto (ipognato o metagnato) e le fossette antennali possono continuarsi verso l'alto in una falce (sutura cefalica interantennale). Le gene (parti postero-ventrali del capo) portano una serie di robuste spine disposte a formare un pettine (ctenidio) per lato (pettine genale).

L'apparato boccale pungente-succhiante è formato da 3 pezzi: 2 lacinie mascellari ed il labrum (labbro superiore)-epifaringe, contenuti in un astuccio formato dall'accostamento dei due palpi labiali. Il labrum-epifaringe, più corto delle lacinie, è ritenuto organo gustativo. La breve ipofa-

A - capo di *Ctenocephalides felis* (pulce del gatto); **B** - pezzi boccali visti di lato; **C** - particolare dell'apice di apparato boccale; **D**-sezione trasversale delle parti boccali



ringe è attraversata dal canale salivare che riversa la saliva nello spazio dato dall'accostamento delle due lacinie ed attraverso il quale viene aspirato il sangue ad opera della pompa faringeale. Il breve labium (labbro inferiore) porta 2 palpi labiali. Le pulci sono insetti olometaboli; il loro ciclo vitale comprende uovo-larva-pupa-adulto e la riproduzione richiede la partecipazione dei due sessi. L'ovideposizione richiede che la femmina consumi prima un pasto di sangue e produce oltre un migliaio di uova per femmina. Le uova, bianche e grosse, sono lasciate cadere o lanciate a terra, o deposte sul fondo dei nidi o delle tane dei loro ospiti, o sul pavimento. La larva è lunga circa 1,5-10 mm, è vermiforme, biancastra o grigiastra, cieca e provvista di peli lunghi e radi. La disposizione delle setole sul corpo è fondamentale per il riconoscimento della specie e la posizione anche di un solo sensillo è importante per la diagnosi di specie. Al capo, la larva neonata porta un processo ovi-ruttore ed antenne uni-articolate costituite da una base ampia con 5 papille intorno alla antenna a cui è associato un sensillo.

Il X segmento addominale porta due appendici utili per la locomozione. Le larve si spostano agevolmente alla ricerca dei detriti nel microambiente dove sono nate. Istintivamente si mantengono

vicine agli adulti dai quali ottengono sferule e spirali di sangue. In alcune specie sarebbero anche esse ematofaghe (es. *Ctenocephalides felis*, la pulce del gatto), e capaci di sollecitare gli adulti ad emettere gocce di sangue fecale. Se si trovano a vivere a carico di animali molto malati o morti da poco, diventano esse stesse parassite e scavano gallerie nella pelle della vittima, oppure possono rimanere sulla vittima nutrendosi di forfora e desquamazioni della cute.

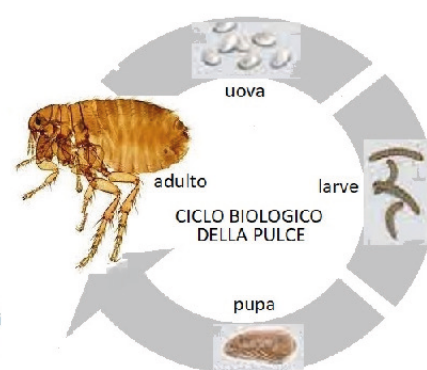
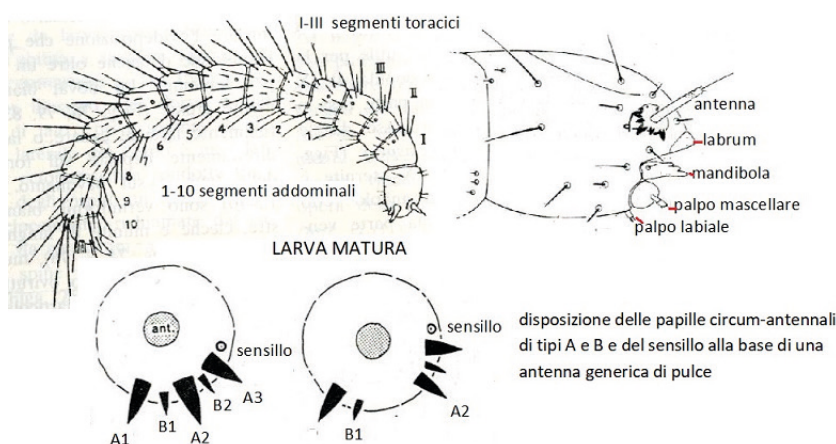
Giunte al terzo stadio, le larve si ricoprono di detriti e si costruiscono una sorta di bozzolo nel quale si impupano. La durata del loro sviluppo è di 2-3 settimane fino a più di un anno; inoltre, l'adulto formatosi nel bozzolo può rimanervi fino a 18 mesi, e ciò spiega la improvvisa comparsa di pulci in ambienti disabitati per molti mesi. Tale fenomeno deriva dall'adattamento alla vita legata ad ospiti, come gli uccelli, che abbandonano il nido per poi ritornarvi di nuovo per nidificare. Gli adulti delle pulci che vivono nei nidi o tane di animali selvatici coordinano la loro emergenza alla presenza degli ospiti in determinati periodi dell'anno in microambienti ricchi di umidità e provvisti di lettiera. L'ospite viene localizzato grazie a cairomoni. Lo stesso "salto" è poco usato in natura a questo scopo, mentre può servire in

condizioni di stress ambientale o di pericolo.

Le specie di pulci europee vivono a carico dei Mammiferi (95%) e degli Uccelli (5%). Le Scimmie non sono attaccate dalle pulci; la pulce dell'uomo (*Pulex irritans*) non è affatto tipica della nostra specie, è originaria del Sud America a carico dei Pecari. La maggior parte delle pulci adulte presenta un ampio spettro di adattabilità a vari ospiti, se vi è stabilità della vita larvale, e questa non è legata agli ospiti ma alle caratteristi-

che microclimatiche del biotopo. Oggi le occasionali infestazioni di pulci in ambiente cittadino sono spesso attribuibili alla pulce del gatto.

Nel riconoscimento degli adulti sono di primaria importanza la conformazione dei pettini (ctenidi) genali (del capo) e pronotali (del protorace), ma poca importanza, ai fini diagnostici, ha la conoscenza dell'ospite in conseguenza della ubiquità di molte specie, anche se la provenienza dà una prima indicazione. ●



Giovanni Berlinguer
Le mie pulci

Edizioni Studio Tesi
2015

Diciamo che un “prurito intellettuale” è alla base di questo piccolo libro in cui si intrecciano osservazione strettamente scientifica, storia, spunti autobiografici e aneddoti spesso ironici che rendono l’idea della poliedricità di interessi che contraddistinguevano Giovanni Berlinguer (1924-2015), uomo di grande spessore.

Nel libro la pulce è individuata come padrona dei destini del suo ospite (l’uomo) e invisibile strumento della storia, tant’è che la peste trasmessa dalle pulci e il tifo petecchiale trasmesso dai pidocchi “decisero la sorte di molte battaglie più di Cesare, Annibale e Napoleone”.

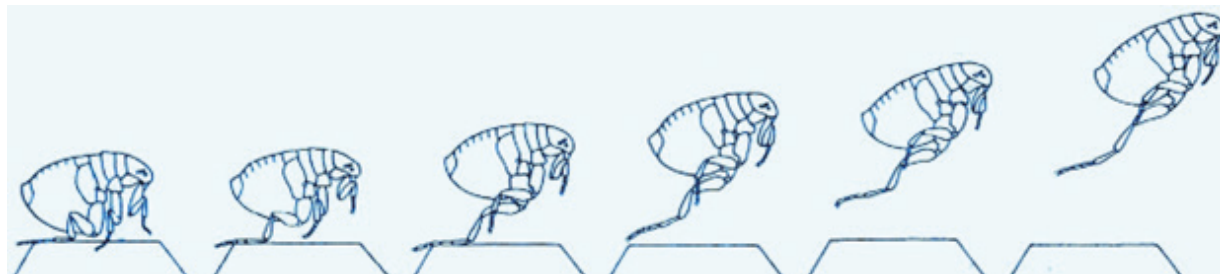
L’aureo libretto si sofferma, tra le altre cose, sul “genio epidemico” della Chiesa, che lavorò quanto le pulci per la causa della diffusione della peste: le processioni, i pellegrinaggi e le messe organizzati per impetrare il perdono divino a chi aveva peccato e perciò meritato il morbo furono occasioni di contagio: “Quando il papa Clemente VI invitò l’intera cristianità a portarsi a Roma, nel 1348, promettendo l’assoluzione per chi vi giungeva ma anche per chi moriva in cammino, moltissimi risposero all’appello, ma ben pochi arrivarono vivi al traguardo”.

La prima edizione fu a cura degli Editori Riuniti 1998, poi altre case editrici proposero edizioni del libro; l’ultima è del 2015, a cura di Edizioni Studio Tesi.

Maria Turchetto

Il salto della pulce

Quando la pulce sta per saltare, si rannicchia abbassando il capo e contraendo il corpo. Il salto comincia quando un impulso di energia spinge i trocanteri delle zampe posteriori contro la superficie di appoggio. Il rinculo fa sollevare i trocanteri, la rotazione dei femori mantiene le tibie a contatto con la superficie di appoggio. La pulce oramai in aria, con tibie e tarsi staccati, dopo un millisecondo che il salto ha avuto inizio, segue una traiettoria parabolica che la porta ad una altezza di 90 mm ed a 180 mm di distanza dal punto di partenza.



Il “decollo” della pulce nel salto avviene in maniera così improvvisa ed è così veloce da non poter essere seguito dall’occhio umano. La pulce del ratto, ad esempio, ha una lunghezza di 1-2 mm ed un peso, a digiuno, di circa 210 microgrammi e può saltare fino a 90mm. Il decollo avviene in direzione verticale e la distanza percorsa, in senso orizzontale è di circa 180 mm, vale a dire che la pulce nel salto copre una distanza che è circa 100 volte la sua lunghezza corporea. Le pulci del gatto e dell’uomo impressionano di più perché possono saltare in verticale addirittura fino a 33 cm. A digiuno le pulci possono saltare per lunghi periodi. La pulce del ratto, ad esempio, se stimolata dalla presenza di altre pulci, salta circa 600 volte all’ora anche per un periodo di 72 ore senza arrestarsi. In un caso sperimentale, 10 pulci eseguirono 10.000 salti all’ora, corrispondenti ad un salto ogni 3,5 secondi. Rothschild suppone che questa abilità nel salto si sia sviluppata perché la pulce sgusciata dalla pupa, evolutivamente, ha dovuto provvedersi della possibilità di raggiungere la sua prima vittima.

La selezione naturale ha eliminato le ali della pulce, ma ha conservato importanti caratteristiche del meccanismo di volo, tuttora presenti in molti insetti alati; in particolare il legamento dell’articolazione dell’ala, il muscolo adduttore (depressore tergotropoanterico) ed i muscoli subalari e basali che sono stati tutti modificati per produrre il decollo lampo. Il salto della pulce è alimentato non soltanto dalla forza muscolare, ma è coadiuvato dalla resilina presente nell’articolazione. La resilina è la proteina elastica più efficiente conosciuta. Cede circa il 97% dell’energia che contiene quando si rilascia dopo essere stata in tensione; in questo modo vi è soltanto una perdita del 3% dell’energia cinetica dissipata in calore, mentre le migliori gomme del commercio hanno una perdita del 15%. Non ha alcuna struttura regolare ma le sue catene, avvolte in modo casuale, sono reticolate da collegamenti di- e tri-tirosina alla giusta spaziatura. Nel salto, la spinta maggiore proviene dalle robuste zampe posteriori e dall’arco pleurale, dove è presente una regione costituita da resilina pura e come legamento distinto intercalato in mezzo a due regioni di cuticola solida. Questo apparato deriva da un sistema alare dei suoi antenati che volavano. Le pulci si sono appiattite, in senso laterale, per potersi muovere più agevolmente in mezzo al pelo dell’ospite; ora, il legamento dell’articolazione dell’ala, originariamente situato sul dorso, si è spostato di lato rendendo così possibile la sua successiva incorporazione nel dispositivo per il salto. Le zampe ed i muscoli toracici, prima modellati per produrre energia per le ali, si sono adattati a trasferire la tensione alla capsula di resilina. Grazie alla resilina, le pulci hanno potuto superare le due maggiori limitazioni dei muscoli: la bassa velocità di rilassamento e di contrazione e la scarsa efficienza a bassa temperatura. Le pulci possono sopravvivere nei deserti ed anche oltre il circolo polare antartico, dove anche per nove mesi l’anno rimangono congelate sotto la neve ed il ghiaccio. La resilina funziona indipendentemente dalla temperatura.

Sperimentalmente, congelata a 0°C per circa nove mesi in un frigorifero domestico, riportata poi a temperatura ambiente, la pulce ha cominciato a saltare in pochi minuti, grazie all’energia immagazzinata nelle strutture elastiche della resilina.

Si conoscono altre due proteine di questo tipo: l’elastina, che conferisce elasticità alle pareti delle arterie ed alle corde vocali nei vertebrati, e l’abductina dei Molluschi, antagonista del muscolo che tiene chiuse le valve della conchiglia.

Piero Sagnibene

focus: plastiche e microplastiche

I was born with a plastic spoon in my mouth...*

Fabio Fantini

Derived from oil processing, plastics have seen their production grow rapidly. Plastics resist chemical and biological aggression, in other words, they have limited degradability. This characteristic, combined with the ease of processing and multi-purpose adaptability that stimulate their production and use, has led to accumulations of plastics in all environments and at all size scales, not excluding the internal environment of organisms. Due to the accumulation effect that characterises all poorly degradable substances, the presence of plastics in the tissues of living systems increases with trophic level and is also becoming a concern for our species.

Keywords: *Microplastics, Nanoplastics, Degradability, Biodegradability.*

Non posso pretendere che, leggendo le parole del titolo, a chiunque, anche se della mia età, risuonino nella mente le semplici ma efficaci note di *Substitute*, una grintosa canzone di un certo successo composta ed eseguita dal gruppo rock inglese The Who. Pubblicata nel 1965, *Substitute* è uno dei rari esempi di quella beffarda ironia che aleggiava nelle prime canzoni del gruppo e che sarebbe andata persa lungo le strade, musicalmente più impegnative, percorse in seguito. Il testo di *Substitute* descrive il disagio di un ragazzo che si sente la controfigura dell'uomo che la sua ragazza vorrebbe davvero e che descrive se stesso nel ritornello come “nato con un cucchiaino di plastica in bocca”, facendo il verso al detto inglese “born with a silver spoon in his mouth”, equivalente a “nato con la camicia” italiano. Quindi, plastica, materiale umile e disprezzabile, contrapposto al nobile argento. Dovremmo riconsiderare con qualche preoccupazione la frase parafrasata con ironia da Pete Townsend e dai suoi sodali: forse non proprio con un cucchiaino di plastica in bocca, ma la maggior parte dei bambini umani nasce oggi, a differenza del 1965, con una insospettata quantità di plastica nel sangue e nei propri organi.



* Buona parte del materiale che compone questo articolo proviene da Fantini F, *Due passi (con prudenza) dentro l'ecologia*, Pisa, ETS, 2022.

Versatili, tenaci ed economiche, le plastiche sono ricavate dal petrolio e meritano il titolo di materiale più rappresentativo della nostra civiltà. Non è difficile pensare che la presenza di plastiche sarà l'indizio che gli archeologi del futuro, a qualsiasi specie possano appartenere, sfrutteranno per assegnare un'unità stratigrafica alla nostra epoca. Giustamente orgogliosi di essere ricordati dai posteri come i produttori delle plastiche, dovremmo però cominciare a riflettere su un inquietante paradosso: produciamo oggetti che durano molti secoli per usi che spesso durano qualche decina di minuti, come nel caso di buste, imballaggi, bastoncini cotonati per l'igiene e così via. Circa il 40% della produzione mondiale riguarda plastica monouso, in particolare imballaggi e contenitori progettati per facilitare il trasporto del prodotto imballato, spesso per aumentarne l'attrattiva e invariabilmente destinati a diventare in poco tempo un rifiuto difficile da riciclare.

Le plastiche hanno il vantaggio di essere leggere e resistenti all'usura ma, come spesso accade, certi vantaggi finiscono con il ritorcersi contro chi ne approfitta troppo. La resistenza delle plastiche al logorio del tempo è una conseguenza della loro refrattarietà a reagire chimicamente alle temperature ambientali normali (in effetti, se buttaste un po' di plastica sulla lava di un vulcano, reagirebbe molto rapidamente). Dal punto di vista chimico, il petrolio è una miscela di idrocarburi e le plastiche sono idrocarburi polimerici ottenuti dal petrolio.

La polimerizzazione è il processo chimico che consente di ottenere grandi molecole lineari attraverso la sintesi ripetuta di unità semplici, che possono essere tutte uguali o anche di pochi tipi diversi. Il successo delle plastiche come materiali dai molteplici impieghi, dall'imballaggio delle merci alla costruzione di parti strutturali di automobili e apparecchi elettronici, è dovuto a proprietà difficili da trovare tutte insieme nella stessa sostanza: bassa densità, buona impermeabilità, resistenza agli aggressivi chimici, facilità di lavorazione, possibilità di differenziarne le caratteristiche mediante l'aggiunta di piccole quantità di additivi specifici. Queste qualità derivano in

gran parte dal fatto che i legami chimici presenti nelle molecole polimeriche delle materie plastiche sono molto stabili nelle normali condizioni ambientali. È un po' la stessa cosa che accade con le molecole di cui noi sistemi viventi siamo composti, anche esse ricche di legami tra atomi di carbonio e di legami tra atomi di carbonio e atomi di idrogeno, esattamente come gli idrocarburi. Con una importante differenza, però: le biomolecole di cui noi siamo composti sono biodegradabili, cioè sono facilmente attaccabili da altri sistemi viventi e demolite nei loro componenti più semplici, che fanno ritorno ai cicli della materia, mentre gli idrocarburi sono molto più refrattari al riciclo.

Per lungo tempo, e in parte anche tutt'ora, le plastiche sono state abbandonate indiscriminatamente dopo l'uso, perché il loro recupero era meno economico della produzione di nuovi oggetti di plastica. Con la mancanza di lungimiranza tipica di un sistema economico basato sul profitto individuale immediato, il danno ambientale non è stato conteggiato nei costi connessi all'abbandono delle plastiche usate.

Benché formate a partire da composti organici, le plastiche sono sostanze che hanno fatto la loro comparsa solo recentemente, di fatto nell'ultimo secolo. Composti organici a tutti gli effetti, gli idrocarburi polimerici non sono però facilmente utilizzabili dai sistemi viventi, benché si tratti di molecole potenzialmente ricche di energia. La loro struttura idrocarburica li rende profondamente diversi dai composti organici che costituiscono i sistemi viventi e i loro alimenti, anche se in massima parte sono formate da carbonio e idrogeno, due dei principali elementi che entrano nella composizione dei sistemi viventi.

Le molecole capaci di avviare alle reazioni metaboliche cellulari glucidi, lipidi e proteine sono inefficaci con gli idrocarburi, totalmente insensibili alle suggestioni biochimiche del metabolismo cellulare. In altre parole, gli idrocarburi non sono biodegradabili.

L'affermazione sulla incapacità dei sistemi viventi di usare gli idrocarburi come fonte di energia metabolica ha, in realtà, alcune eccezioni, in

particolare per quanto riguarda la più semplice molecola idrocarburica, il metano (CH_4). Esistono, infatti, batteri appartenenti all'ordine Metanotrophicali capaci di ricavare energia dall'ossidazione della molecola di metano. Altri batteri, dell'ordine Flavobacteriales, riescono a metabolizzare alcune materie plastiche, come l'acido 6-amminoesanoico, usato nella produzione di nylon. Se è vero che alcune comunità batteriche sono in grado di ricavare energia dalle plastiche, è altrettanto vero che il processo di biodegradazione avviene lentamente. Inoltre, si tratta di comunità rare, perché la disponibilità di plastiche nei tempi passati era nulla e nessun organismo capace di produrre enzimi in grado di attaccare le plastiche avrebbe avuto modo di prosperare e riprodursi¹. Grazie alle tecniche dell'ingegneria genetica si tenta di accelerare i processi evolutivi inserendo nel genoma di alcuni batteri geni per la produzione di enzimi capaci di agire sulle plastiche. La strada da percorrere è però ancora lunga e nel frattempo le plastiche accumulate nell'ambiente hanno iniziato a generare gravi danni.

La produzione mondiale di plastiche ha raggiunto nel 2022 un totale di 460 Mt², con previsione di raddoppio entro il 2050. Anche se una miracolosa presa di coscienza del problema rappresentato dalle plastiche spingesse a interromperne istantaneamente la produzione, dovremmo comunque fare i conti con quelle già presenti nelle discariche e nell'ambiente, la cui massa complessiva è stimata in 5 Gt³. Le plastiche di rifiuto potrebbero essere sfruttate per recuperare energia con la combustione, c'è però il problema delle sostanze tossiche, tra le quali la diossina, che si liberano nella decomposizione alle alte temperature. Il riciclaggio delle plastiche riguarda solo una frazione di quelle prodotte e usate; ai dati del 2020, il 10% di tutta la plastica prodotta globalmente è stata correttamente riciclata⁴.

Alcune plastiche sono degradabili, cioè sono costituite da plastiche convenzionali cui sono aggiunte sostanze che ne accelerano la frammentazione in piccolissimi pezzi per azione del calore e dei raggi ultravioletti. Le piccole particelle si disperdono nell'ambiente e rappresentano un grave fattore di inquinamento (fig. 1).



Figura 1. Microplastiche raccolte nel fiume Magothy, in Maryland, USA (© Will Parson/Chesapeake Bay Program).

Altre plastiche sono biodegradabili, vale a dire che i frammenti che si formano dalla loro decomposizione possono essere attaccati da opportune popolazioni batteriche e digeriti con produzione finale di acqua e diossido di carbonio. La degradazione biologica operata dai batteri richiede condizioni particolari. Per esempio, le plastiche definite compostabili sono disintegrate in frammenti almeno al 90% entro tre mesi e digerite da microorganismi almeno al 90% entro sei mesi, ma ciò avviene solo se sono correttamente immesse nel ciclo del compostaggio. Altrimenti, le plastiche compostabili si comportano come le normali plastiche degradabili, i cui frammenti potranno essere digeriti da microorganismi solo nell'arco di centinaia di anni.

La lenta degradazione delle plastiche abbandonate o non trattate correttamente produce fram-

1. Alcune molecole idrocarburiche sono prodotte naturalmente dai sistemi viventi. Per esempio, lo stirene, la molecola che polimerizzata produce il polistirene (o polistirolo), è un idrocarburo aromatico prodotto da alcune piante, tra cui il

caffè, per proteggere le foglie dalla disidratazione. Si tratta, però, di quantità marginali, la cui presenza nell'ambiente è così ridotta da non rendere vantaggioso l'impegno biochimico necessario per inserirle nel metabolismo cellulare.

2. <https://economiecircolare.com/inquinamento-plastica-report-ocse/>

3. https://www.lescienze.it/news/2021/05/19/news/inquinamento_microplastiche_diffusione_rilevazione_

tossicità_salute_pesci_uomo-4930912/

4. Geyer R, *Production, use, and fate of synthetic polymers*, in Letcher, TM (ed.): *Plastic waste and recycling*, Academic Press, Cambridge, MA, 2020.

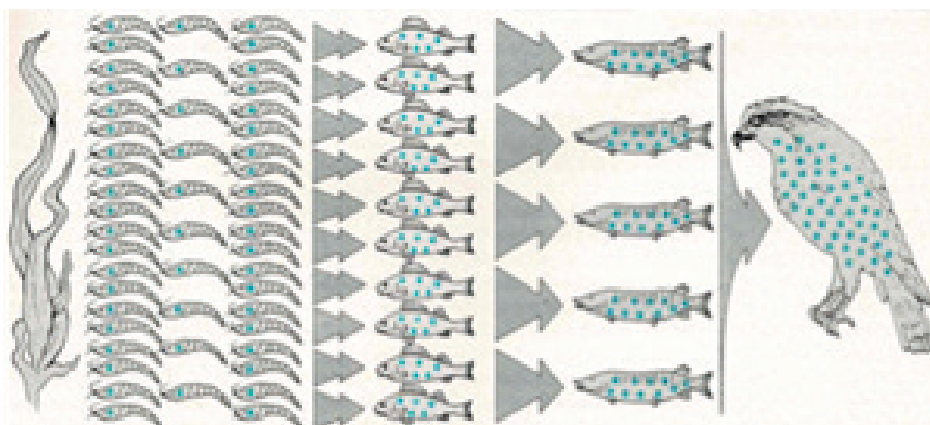


Figura 2. I piccoli crostacei che si cibano dell'alga raccolgono ciascuno una piccola quantità di sostanza non biodegradabile. Man mano che si sale nella catena alimentare, i consumatori dei successivi ordini concentrano nel loro corpo quantità crescenti della sostanza che, non degradata, è trasmessa intatta. L'apice della catena alimentare rappresentato in figura è un rapace, ma avrebbe potuto altrettanto bene essere un umano (da Fantini F, Monesi S, Piazzini S, *Le scienze della vita*, Ferrara, Italo Bovolenta Editore, 1991).

menti sempre più piccoli⁵, impossibili da raccogliere e destinati a finire nei fiumi e nei mari. Nel 2020, secondo gli oceanografi, circa $8-10^6$ pezzi di plastica di tutte le dimensioni sono arrivati fino agli oceani ogni giorno, per un totale nel corso dell'anno stimato fra 8 e 14 Mt, mentre nelle superfici marine di tutto il mondo galleggiava un numero di particelle di microplastiche stimato in $5,25 \cdot 10^{12}$.

L'accumulo di plastiche disperse nell'ambiente rappresenta un problema particolarmente grave per gli ecosistemi marini. Se può essere ipotizzato un recupero meccanico almeno parziale per i frammenti di dimensioni maggiori, i microframmenti dispersi costituiscono una porzione irrecoverabile, destinata a inserirsi nella catena alimentare e magari a concentrarsi, come accade normalmente per gli inquinanti poco o per niente biodegradabili, ai livelli trofici superiori.

Le microplastiche tendono inevitabilmente a concentrarsi nei livelli trofici più elevati in conseguenza dell'effetto "imbuto". I componenti non metabolizzabili del cibo si accumulano, infatti, negli organismi che si cibano di altri organismi, in misura sempre maggiore con l'aumento del livello trofico (fig. 2). Gli umani appartengono a un livello trofico elevato e la loro esposizione alla assunzione involontaria di microplastiche rappresenta un problema di salute pubblica. Secondo uno studio del 2021⁷, ogni giorno un adulto incorpora, attraverso l'alimentazione o la respirazione, quasi 1000 particelle di microplastiche o nanoplastiche. Una parte di queste particelle è presente nel sangue degli individui con una concentrazione di $1,6 \mu\text{g/mL}$ ⁸, un valore non trascurabile che impone di sviluppare ulteriori studi per determinare se l'esposizione alle microplastiche e alle nanoplastiche rappresenti un rischio effettivo per la salute pubblica. ●

5. Le particelle con diametro minore di 5 mm appartengono alla categoria delle microplastiche, mentre quelle con diametro inferiore a $1 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$) sono classificate come nanoplastiche.

6. <https://www.condorferries.co.uk/plastic-in-the-ocean-statistics>

7. Nor N H M, Kooi M, Diepens NJ, Koelmans AA, *Lifetime Accumulation of Microplastic in*

Children and Adults, Environmental Science & Technology, 2021 55 (8), 5084-5096.

8. Leslie H A, Van Velzen MJ M, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-vallejo JJ, Lamoree MH,

Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood, Environment International, 2022 163, 1-8.

Microplastiche: origine, diffusione ed effetti

Environmental pollution by microplastics is becoming a major issue also for human health as a consequence of their ubiquitary diffusion even through the trophic chains. Their impact is thought to increase as the world wide plastics production and consumption are still increasing at an exponential rate. Here the classification and source of microplastics, as derived by different polymeric materials, are considered with respect to their formation from large plastic debris as a consequence of environmental degradation processes, as well as to their impact as emerging pollutant.

Keywords: *Microplastics, Environmental degradation of polymers, Volatile organic compounds (VOCs)*

Andrea Corti

Dati generali su produzioni, consumi e impieghi delle materie plastiche

La produzione mondiale e l'impiego di materiali plastici, che hanno progressivamente sostituito i materiali naturali grazie alle caratteristiche di leggerezza, versatilità, durevolezza ed economicità, a partire dagli anni '50 del secolo scorso hanno assunto un andamento esponenziale strettamente connesso al modello di crescita, altrettanto esponenziale, della popolazione mondiale. Se quest'ultima ha raggiunto recentemente la cifra di 8 miliardi di persone, la produzione globale annua di materiali plastici, incluse le fibre tessili sintetiche, può essere stimata in oltre 450 milioni di tonnellate. Oltre il 90% di tale produzione deriva da risorse fossili, l'8,3% è ottenuto attraverso il riciclo e soltanto l'1,5% è di origine biologica da trasformazione di risorse naturali rinnovabili. È da rilevare, tuttavia, che soltanto il 4% dell'intera produzione mondiale di petrolio e gas naturale viene utilizzato per la produzione di materiali plastici, mentre oltre l'87% viene impiegata come combustibile nella produzione energetica, nel riscaldamento e nei trasporti.

La "plastica", che letteralmente significa malleabile o flessibile e può essere virtualmente trasformata in ogni forma, è costituita da lunghe catene – polimeri – a loro volta formate da singole molecole, i monomeri, legate covalentemente tra loro. I polimeri (vedi finestra di approfondimento), quantitativamente predominanti per la produzione di materiali plastici, sono il polietilene (PE) 26,9%, il polipropilene (PP) 19,3%, il polivinilcloruro (PVC) 12,9%, il polietilentereftalato (PET) 6,2%, e il polistirene (PS)



5,3%. L'elevata produzione di questi polimeri è strettamente connessa ai principali settori di impiego e di utilizzo delle materie plastiche: imballaggi (*packaging*), 44% (PE, PP, PET, PS), edilizia (18%) (PVC, PS), industria automobilistica (PP) (8%); agricoltura, allevamento e giardinaggio (PE) (4%). La diffusione capillare dei polimeri sintetici in tutti i settori merceologici è stata anche favorita dalla inerzia chimica (resistenza alla corrosione) unita alla notevole resistenza agli agenti biologici che conferisce durabilità alle materie plastiche. Per questi motivi, tuttavia, con il diffondersi dei campi di impiego, ma soprattutto con l'aumento impressionante delle quantità prodotte e, contestualmente, dei rifiuti plastici, si sono progressivamente evidenziate forti criticità relative all'impatto ambientale. Tali criticità sono ovviamente accentuate nel caso di rifiuti plastici dispersi in modo incontrollato.

Rifiuti plastici

In Europa, a fronte di una produzione annuale di materie plastiche di oltre 60 milioni di tonnellate annue, si stima una produzione di rifiuti plastici pari a circa 27 milioni di tonnellate. A tutt'oggi oltre il 50% dei rifiuti plastici, e soprattutto i rifiuti da imballaggi o per applicazioni monouso, sfugge a qualsiasi intervento di corretta gestione e viene disperso nell'ambiente. Nel caso dei rifiuti da imballaggi a fronte di oltre 80 milioni di tonnellate prodotte annualmente, la gestione attualmente prevede il 40% di confinamento in discarica, il 14% di incenerimento, con o senza recupero energetico, il 14% di riciclo e il 32% di dispersione incontrollata nell'ambiente. Tale scenario ha portato a stimare in circa 8 milioni le tonnellate di materie plastiche che vengono annualmente riversate in mare. Oltre l'80% di que-

sti quantitativi ha origine da ambienti terrestri, oltre la metà è prodotta da 5 paesi (Cina, Indonesia, Filippine, Tailandia e Vietnam) e raggiunge per il 90% gli ambienti marini trasportata da 10 fiumi¹, Amur, Mekong, Indus and Gange in Asia e Niger e Nilo in Africa). I rifiuti plastici, intrinsecamente non biodegradabili, rappresentano inoltre il 75% dei rifiuti marini² e il Mediterraneo è riconosciuto come una delle aree più altamente contaminate da plastiche (Cozar et al. 2015). I principali responsabili sono la Turchia, che riversa approssimativamente 144 tonnellate al giorno di rifiuti plastici, seguita dalla Spagna (126 tonnellate), dall'Italia (90 tonnellate), dall'Egitto (77 tonnellate) e dalla Francia (66 tonnellate)³.

Detriti plastici e microplastiche

Il primo segnale d'allarme sull'inquinamento da detriti plastici venne suonato già nel lontano 1972 da E. J. Carpenter e K. L. Smith⁴ che denunciarono la presenza di granuli plastici nell'oceano atlantico e, soltanto pochi mesi dopo, l'ingestione di granuli di polistirene da parte di pesci⁵. Mentre l'inquinamento da oggetti in plastica, considerati a torto pressoché indistruttibili, suscita da anni indignazione e preoccupazione anche a causa della sua facile percezione come fattore di deturpamento paesaggistico e per gli effetti ampiamente documentati derivanti dalla ingestione o dall'intrappolamento a carico della macrofauna acquatica, solo in anni più recenti la questione delle micro e nanoplastiche ha iniziato ad essere oggetto di studi scientifici e di attenzione da parte dell'opinione pubblica e degli organismi governativi.

Ad oggi non esiste una definizione unanime di "microplastiche" (MP), termine coniato nel 2004⁶, con il quale si indicavano frammenti di

1. Schmidt et al. (2017). *Export of plastic debris by river into the sea*, Environ. Sci. Technol. 51, 12246-12253.

2. Zhang K et al., *Understanding plastic degradation and microplastic formation in the*

environment: a review, Environ Pollut 274, 2021.

3. Sharma S et al., *Microplastics in the mediterranean sea: sources, pollution intensity, sea health, and regulatory policies*, FrontMarine Sci 8, 2021.

4. Carpenter EJ, Smith KL, *Plastics on the Sargasso Sea surface*, Science 175:1240-1241, 1972.

5. Carpenter EJ et al., *Polystyrenespherules in coastal waters*, Science 175:749-750, 1972.

6. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE, *Lost at Sea: Where Is All the Plastic?*, Science, vol. 304, 5672:838, 2004.

dimensioni inferiori a 5 mm⁷. In genere sarebbe opportuno limitare tale definizione a frammenti che possono essere identificati mediante un microscopio, e quindi indicativamente inferiori a 1 mm⁸. In ogni caso, le categorie dimensionali proposte da van Cauwenberghe et al.⁹ sono attualmente quelle più comunemente utilizzate per descrivere l'inquinamento ambientale da detriti plastici (tabella 1). La categorizzazione delle microplastiche è stata ulteriormente affinata da Cole et al.¹⁰ che, introducendo il concetto di "origine", hanno distinto le microplastiche *primarie*, ovvero quelle intenzionalmente prodotte per avere dimensioni microscopiche, da quelle *secondarie* che si originano dalla degradazione ambientale e dalla frammentazione di detriti plastici macroscopici.

Tabella 1. Classificazione dimensionale di frammenti plastici
(suggerita da van Cauwenberghe et al., 2015)

Categoria	Dimensioni
Macroplastiche	>2,5 cm
Mesoplastiche	0,5-2,5 cm
Microplastiche grandi	1-5 mm
Microplastiche piccole	1-1000 µm
Nanoplastiche	1-1000 nm

Le microplastiche primarie sono rappresentate, ad esempio, dalle microsfele utilizzate nei prodotti cosmetici esfolianti o nei dentifrici, ma anche dalle microfibre rilasciate durante il lavaggio di tessuti e indumenti. A tale proposito è stato stimato che dal lavaggio di 5 Kg di tessuti sintetici possono essere rilasciati da 6 a 17 milioni di microfibre con diametro di 15-20 µm e lunghe 300-500 20 µm¹¹.

L'azione combinata di diversi fattori ambientali, e in primo luogo l'esposizione alla frazione ultravioletta della luce solare dei detriti plastici dispersi, è alla base dei processi degradativi (*weathering*) delle catene polimeriche e della conseguente formazione delle microplastiche secondarie. Gli effetti macroscopici di questi processi possono essere chiaramente visibili come linee di frattura su manufatti plastici abbandonati e esposti alla radiazione solare (fig. 1). Questi processi sono "innescati", appunto, dalla foto-ossidazione (UV + ossigeno), accentuati da stress termici e meccanici o, nel caso di alcuni tipi di polimeri, quali il PET, dall'azione chimica (idrolisi) dell'acqua. I meccanismi che sono alla base dei



Figura 1. Effetti della degradazione ambientale

processi degradativi si possono riassumere: 1) nella formazione di composti altamente reattivi (radicali liberi), 2) nella fissazione di ossigeno

7. Harrison JP, Ojeda JJ, Romero-González ME, *The applicability of reflectance micro Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments*; Science of the Total Environment 416:455-463, 2012.

8. Browne MB, Galloway TS, Thompson RC, *Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines*, Environ. Sci. Technol., 44:3404-3409, 2010.

9. Cauwenberghe L et al., *Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects*, Marine Environmental Research, vol. 111:5-17, 2015.

10. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS, *Micro-*

plastics as contaminants in the marine environment: A review, Marine Pollution Bulletin, vol. 62, 12:2588-2597, 2011.

11. De Falco et al., *Env.Poll.*, 236:916-925, 2018.

molecolare e di prodotti di ossidazione a loro volta molto reattivi, 3) in reazioni idrolitiche che a loro volta determinano effetti sia a livello molecolare (rottura delle catene polimeriche, processi di depolimerizzazione e rilascio di composti semplici) sia a livello macroscopico (ingiallimento, infragilimento, idrofilia, variazioni di densità, polverizzazione superficiale). Detto in parole povere, anche le plastiche invecchiano secondo gli stessi processi che rendono “grinzosa” la pelle o rancido l’olio.

Da un punto di vista più chimico l’“invecchiamento” delle plastiche oltre a determinare la formazione delle microplastiche (fig. 2) determina significativi cambiamenti delle proprietà dei materiali originali, come una sostanziale variazione di densità, per cui un film di polietilene intatto galleggia, ma dopo aver subito un forte processo

foto-ossidativo, si frammenta e affonda (fig. 3). La diversa natura chimica delle microplastiche secondarie si traduce anche nella alterazione chimica e nella presenza di gruppi funzionali, generalmente



Figura 3. Degradazione ossidativa e variazione di densità

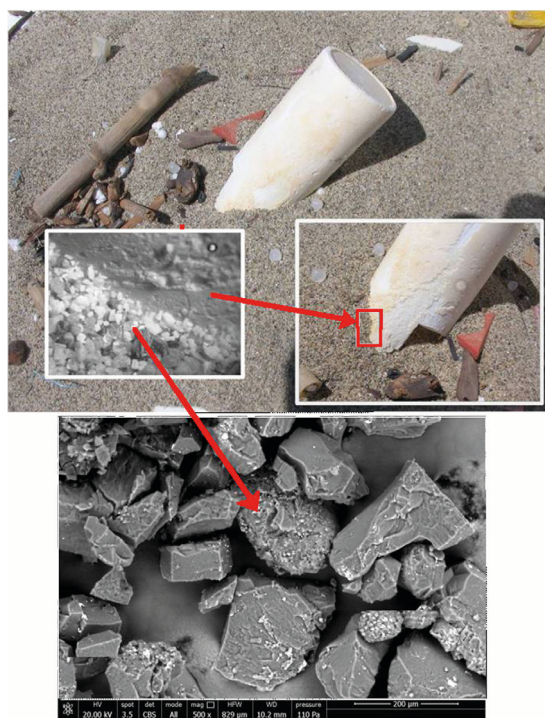


Figura 2 . Dai macrodetriti alle microplastiche

12. UNEP, *Report: Emerging issues of environmental concern*, United Nations Environment Programme, 2016.

13. Free CM, Jensen OP, Ma-son SA, Eriksen M., Williamson NJ, Boldgi B, *High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*, Marine Pollution Bulletin, 85:156, 2014.

ossidati, sugli strati superficiali delle particelle che possono alterare significativamente la loro “reattività” nei confronti degli organismi e dei tessuti biologici con cui vengono a contatto.

Nel 2016 lo United Nations Environment Programme¹² ha definito le microplastiche come uno degli inquinanti emergenti a causa della loro presenza ubiquitaria nell’ambiente e della scarsa conoscenza sugli effetti che potrebbero determinare sulla salute umana. Frammenti di materiale plastico sono stati rinvenuti sia in laghi remoti della Mongolia¹³ che in sedimenti marini a 5 km sotto il livello del mare¹⁴. L’esposizione degli organismi marini e di acqua dolce a questa tipologia di inquinanti avviene per ingestione diretta dall’acqua o indirettamente tramite l’alimentazione. Nel primo caso rientrano le specie animali che si nutrono filtrando il fitoplancton dall’acqua (mitili e cirripedi); nel secondo caso rientrano le specie che si procurano i nutrienti da organismi inferiori nella piramide alimentare o da carcasse in decomposizione (anfipodi, arenicola marina, pesci).

14. Van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, Janssen CR, *Microplastic pollution in deep-sea sediments*, Environmental Pollution, 182:495, 2013.

In diversi campioni animali è stato dimostrato che a seguito dell'ingestione i frammenti polimerici più grandi scambiati per cibo o passano nel tratto digerente per poi essere espulsi con la defecazione o vi si accumulano portando alla morte il soggetto. Man mano che si riducono le dimensioni delle microplastiche ingerite, aumenta la frazione di queste che possono attraversare le membrane cellulari giungendo nel sistema circolatorio, con effetti ancora ignoti sull'organismo¹⁵. Oltre ad effetti diretti sono da considerare effetti indiretti che possono comprendere, ad esempio, l'accumulo e il trasporto di microorganismi patogeni e fenomeni di adsorbimento, assorbimento e rilascio di composti chimici inquinanti dalle soluzioni circolanti che possono così raggiungere concentrazioni potenzialmente elevate nelle microplastiche. Infatti è stato dimostrato che molti inquinanti organici, compresi gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i policloro bifenili (PCB), si adsorbono sulla superficie dei polimeri per via della natura idrofoba di questi ultimi. Le microplastiche sono quindi dei potenziali preconcentratori di sostanze note per la loro pericolosità, e questo amplifica i rischi per la salute legati alla loro diffusione¹⁶. Un altro potenziale rischio connesso a detriti plastici degradati e alle microplastiche che si originano da essi è il rilascio di composti chimici volatili, i cosiddetti VOCs. Questo fenomeno è facilmente apprezzabile esponendo strisce di cartina al tornasole a frammenti di polietilene o polipropilene raccolti sulla spiaggia, il rilascio di composti volatili acidi è facilmente dimostrabile dal viraggio al giallo della cartina (fig. 4). In uno studio specifico è stata dimostrata una correlazione diretta tra il grado di invecchiamento di microplastiche di polietilene, polipropilene e polistirene e il rilascio di composti volatili inclusi nella lista dell'*European Union Occupational Exposure Limit* quali acroleina, pro-

panale, benzene, toluene. Le microplastiche possono quindi avere effetti diretti sulla salute umana entrando di fatto nelle catene trofiche ad esempio attraverso il consumo di pesci o di altri organismi contaminati. Studi recenti hanno infatti direttamente confermato gli effetti citotossici su cellule cerebrali umane¹⁷.

Conclusioni e prospettive

Il quadro emergente dal crescente numero di indagini scientifiche sugli effetti dell'inquinamento da microplastiche è sicuramente preoccupante, anche in considerazione della quantità abnorme di rifiuti plastici, soprattutto imballaggi, già immessi nell'ambiente e di quelli che costantemen-

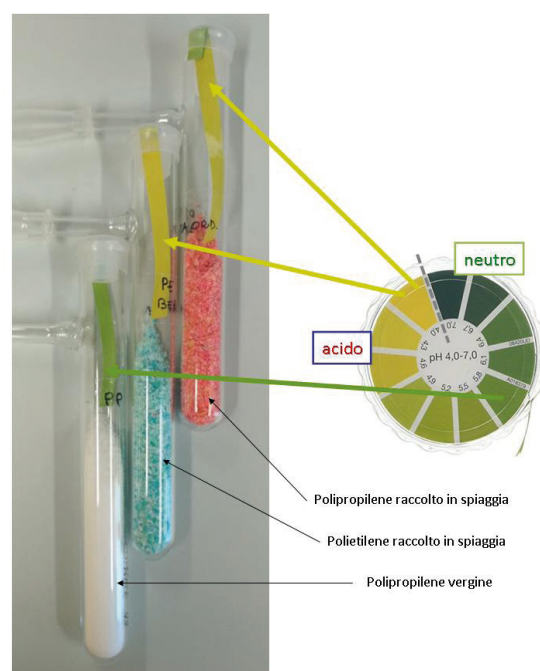


Figura 4. Rilascio di VOCs da detriti plastici spiaggiati

15. Browne MA et al., *Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel*, Environmental Science and Technology, 42:5026, 2008.

16. Frias JPGL, Sobral P, Ferreira AM, *Organica pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast*, Marine Pollution Bulletin, 60, 2010; Karapanagioti HK, Klontza I, *Testing phenanthrene distribution properties of*

virgin plastic pellets and plastic eroded pellets found on Lesbos island beaches (Greece), Marine environmental research, 65:283, 2008.

17. Lomonaco et al., *Release of harmful volatile organic*

compounds (VOCs) from photo-degraded plastic debris: a neglected source of environmental pollution, J Hazard Mater 394:122596

te sfuggono a piani di gestione corretti. D'altra parte i materiali plastici sono fondamentali per la qualità della vita e con i livelli attuali della popolazione mondiale è impensabile poterli sostituire nuovamente con i soli metalli, il vetro o il legno. Potrà sembrare contraddittorio, ma la "plastica" porta alla riduzione dei consumi energetici, delle emissioni di gas clima alteranti e degli sprechi di cibo consentendo una migliore conservazione degli alimenti. È fondamentale però saperla usare esclusivamente dove porta vantaggi ambientali, gestire il fine vita dei materiali plastici non biodegradabili, privilegiando il riciclo con recupero di materia rispetto al recupero energetico, in ogni caso evitandone assolutamente la collocazione in discarica o peggio la dispersione ambientale e, in prospettiva, attrezzandosi per produrla da materie prime rinnovabili e con caratteristiche certe di biodegradabilità e di ridotto impatto ambientale. ●

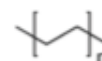


Finestra di approfondimento: I POLIMERI

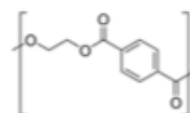
I polimeri sintetici sono costituiti da catene lineari di molecole semplici, i monomeri, legati tra loro da legami covalenti. Il mercato dei polimeri è dominato da sei tipologie di materiali termoplastici a loro volta divisibili in due macro-classi, distinte tra loro per le diverse caratteristiche strutturali e/o chimico-fisiche che ne condizionano la distribuzione ambientale ed i processi degradativi:

- Polimeri a catena principale idrocarburica o omopolimeri: sono polimeri esclusivamente idrocarburici, contenenti in catena principale soltanto C e H, quali le poliolefine (polietilene, PE, ad alta e bassa densità, polipropilene, PP, e loro copolimeri) e il polistirene (PS, compresso e espanso), ossia i polimeri prodotti in maggior quantità e maggiormente utilizzati per imballaggi e oggetti monouso, oltre ai polimeri vinilici contenenti eteroatomi (O, N, Cl) in catena laterale, quali polivinilcloruro (PVC) e polimeri acrilici, che sono soggetti a processi degradativi simili ai primi ma differiscono da essi per la densità superiore a quella dell'acqua.
- Eteropolimeri: i più diffusi sono poliesteri quali il polietilene tereftalato (PET) e poliammidi (PA); sono più densi dell'acqua e sono caratterizzati dalla presenza di eteroatomi quali O ed N in catena principale, che rendono possibili anche processi degradativi di natura idrolitica, potenzialmente attivabili da catalisi enzimatica.

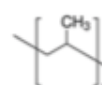
Polyethylene (PE)



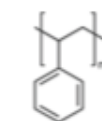
Polyethylene terephthalate (PET)



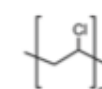
Polypropylene (PP)



Polystyrene (PS)



Polyvinyl chloride (PVC)



Minacce in alto mare: la plastica

Plastic, together with oil, is one of the ocean pollutants that receives more media coverage. It is most focused because it does not go unnoticed. It is impossible to ignore it. What do the so-called islands of plastic in the oceans really look like? Where are they? How are they harmful for the environment and for us humans? What can we do to stop this pollution and start to mend the planet?

Keywords: *Ocean, Pollution, Plastic islands*

Eleonora Polo

È una minaccia reale perché il nostro pianeta è da sempre trattato come una pattumiera, in particolare gli oceani e le vie d'acqua perché allontanano i rifiuti dal punto di immissione in modo rapido ed economico.

La natura dispone di meccanismi chimici e biologici per degradare una grande varietà di materiali, ma ha difficoltà a gestirne alcuni, tra cui numerose plastiche sintetiche. Il problema ha assunto dimensioni imponenti perché la produzione mondiale ha già superato i 400 milioni di tonnellate all'anno, di cui circa otto dovrebbero finire in qualche modo negli oceani. È come se ogni minuto un camion di rifiuti ci svuotasse dentro 300 kg di plastica. Al ritmo di crescita attuale e in assenza di misure correttive si prevede che i camion diventeranno due nel 2030 e quattro nel 2050.

Le isole che non ci sono

Quando i media parlano delle *isole di plastica* negli oceani utilizzano spesso immagini di forte impatto che ritraggono masse compatte di rifiuti galleggianti. Queste foto, pur essendo autentiche, sono state scattate altrove, per lo più in prossimità delle coste nei punti in cui la circolazione delle acque tende a far convergere i rifiuti. È probabile che nel tempo, se le circostanze lo consentono, questi detriti possano costituire un *serbatoio di materiali* che rifornisce le isole, ma quello che arriverà, dopo anni di permanenza in acqua e sottoposto a *maltrattamenti* di ogni tipo, sarà frammentato e irriconoscibile.

Un po' di storia

La scoperta ufficiale delle isole di plastica risale al 1997, quando il velista Charles J. Moore, più noto come il capitano Moore, di ritorno da una re-



gata nell'oceano Pacifico, mentre percorreva una rotta poco trafficata, si trovò improvvisamente in mezzo ad acque costellate di frammenti di plastica dispersi per chilometri e chilometri, un fatto inspiegabile poiché non c'era nessuna causa che potesse spiegarne la presenza. Questa scoperta ha impartito un cambio di rotta alla sua vita e all'Algalita Marine Research Foundation, che aveva creato tre anni prima per studiare gli ecosistemi marini della California. A partire dal 1999 il capitano Moore ha organizzato una serie di spedizioni di studio e campionamento in ogni area del Pacifico e ha partecipato a iniziative analoghe in tutti gli altri oceani e anche nel mar Mediterraneo. Purtroppo sono occorsi vari anni perché la notizia *bucasse* i media e cominciasse a turbare i sonni di qualcuno.

Chiariamo subito un punto: il termine *isole*, così amato dai media, non è stato inventato da Charles Moore, che detesta questa definizione, perché richiama immagini lontane dalla realtà, cioè zattere semisolide dai confini poco definiti, ma su cui si possa perfino camminare in alcuni punti. In qualche articolo è stato scritto anche questo, purtroppo. Anche la notizia che le isole si possano vedere dai satelliti, benché corredata da una foto della NASA senza riferimenti, è falsa, perché lo *zampirone verde* che si vede è soltanto una fioritura di fitoplancton.

Il capitano Moore preferisce definirle piuttosto una *zuppa di plastica*, cioè zone di oceano dalle acque torbide in cui sono dispersi frammenti di questo materiale, sicuramente *non* costellate di taniche, bacinelle e flaco-

ni intatti di plastica. Dopo anni di maltrattamento in mare aperto non possono essere sicuramente rimasti integri.

Lo smog di plastica

I dati delle spedizioni scientifiche lo confermano. Un articolo¹, che ha raccolto i risultati di 15 anni di spedizioni e campionamenti, indica chiaramente che, se si considerano i dati in percentuale, la distribuzione per peso e dimensione dei frammenti è la stessa in tutte le isole e anche nel Mediterraneo. Quello che cambia da zona a zona è solo la concentrazione in grammi per chilometro quadrato². Trasformando le tabelle numeriche originali in un diagramma di più facile lettura (fig.1), emerge subito un dato: sul numero stimato di 5250 miliardi di pezzi, il 92,4% è costituito da microplastiche con dimensioni inferiori a 4,75 mm (un seme di lino), mentre solo lo 0,2% supera i 20 cm, il lato lungo di una custodia DVD. Tuttavia, sono proprio i pezzi più grandi che incidono di più sul peso globale, perché costituiscono il 75,4% delle 268.940 tonnellate di plastica che si stima sia in circolazione. Quindi, ci sono tanti pezzi molto piccoli e leggerissimi, di materiali differenti, distribuiti in una zona molto vasta

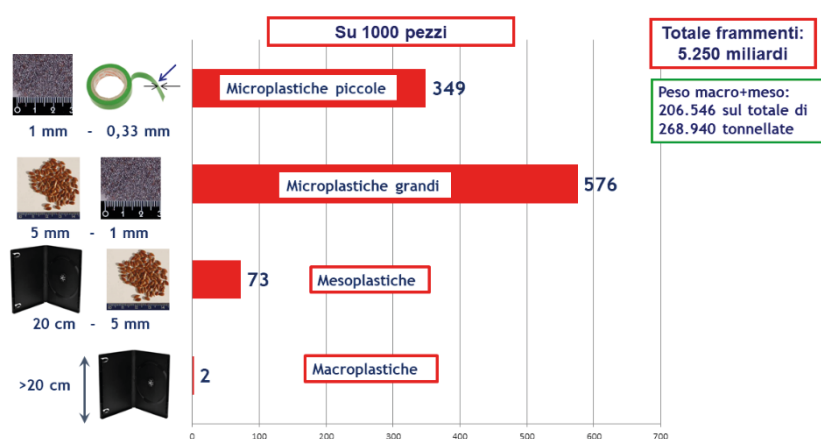


Figura 1. Dimensioni medie dei frammenti raccolti in 15 anni di spedizioni negli oceani.

1. Eriksen M, Moore CJ et al., *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250.000 Tons Afloat at Sea*, PLoS ONE, 9, 2014.

2. C  zar A., et al. Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea, PLoS ONE, 10 (2015) e0121762

e in una colonna d'acqua di 20-30 metri. Ecco perché i satelliti non possono vederle. Questo dato deve essere tenuto presente da qualsiasi progetto di pulizia degli oceani, perché sono dimensioni paragonabili a quelle di molte frazioni di plancton. Come togliere la plastica senza distruggerlo o danneggiarlo?

Inoltre, anche fuori dalle cosiddette isole l'oceano non è pulito, è solo un po'

meno sporco. Di fatto non è mai stato definito uno standard per stabilire un confine fra livelli *normali* ed *elevati* di inquinanti nelle acque lontano dalle coste. La superficie stimata dei detriti galleggianti negli oceani copre ormai quasi un terzo del pianeta – quindi è pari a quello delle terre emerse – ma ormai non esistono più zone di mare, per quanto remote, in cui non si trovino rifiuti di plastica. Una delle prime foto scattate con una sonda in fondo alla Fossa delle Marianne (circa 10 km di profondità) ha immortalato proprio una sportina di plastica un po' sbrindellata, ma ancora perfettamente riconoscibile.

I punti di accumulo

Come mai la plastica finisce lì e non da un'altra parte? Il fatto che ci fossero negli oceani zone di accumulo di detriti era noto fin dall'antichità. Per effetto delle correnti tutto ciò che arriva in mare, alla fine o si arena sulle spiagge o si deposita sui fondali o si concentra in alcune zone, dalla forma di ellissi schiacciate e di ampiezza variabile, situate in tutti gli oceani. Le isole di plastica – due nel Pacifico, due nell'Atlantico, una nell'Oceano Indiano e una nel mare Artico (fig.2) – sono state scoperte

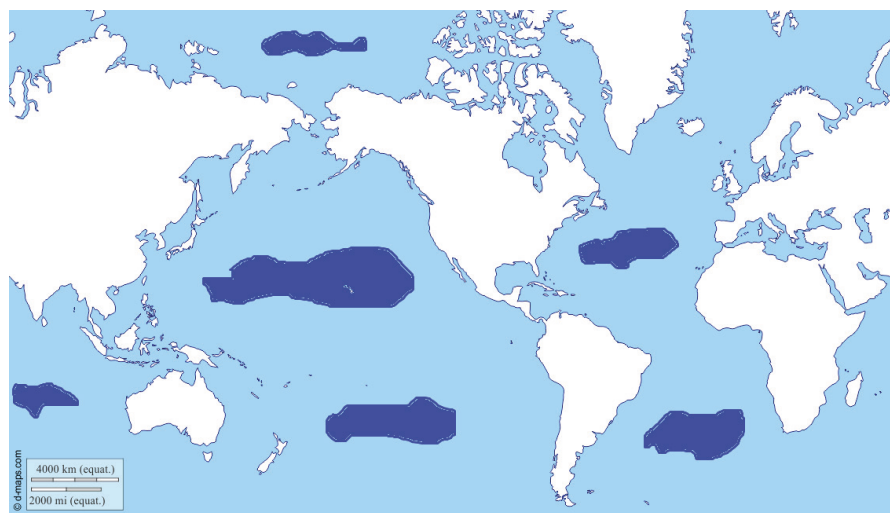


Figura 2. Collocazione delle isole di plastica (le aree sono indicative)

tardi perché si tratta di zone lontane dalle principali rotte di navigazione, poco pescose e caratterizzate da correnti marine e ventilazione deboli.

La loro collocazione dipende dall'attuale assetto delle correnti oceaniche prodotto da differenze di temperatura, di salinità e dall'impulso dei venti, combinate con la forza di Coriolis, dovuta alla rotazione della Terra attorno al suo asse. Le correnti superficiali e profonde mettono in moto enormi flussi d'acqua che si comportano come un enorme *nastro trasportatore* (Global Conveyor Belt) che porta alla formazione di sistemi di correnti a movimento rotatorio (*gyre*).

La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ha creato e perfezionato nel tempo OSCURS (*Ocean Surface Current Simulator*), un software di simulazione delle correnti superficiali degli oceani, utile per prevedere i movimenti dei banchi di pesci e dei cetacei, delle correnti oceaniche e, più di recente, degli spostamenti dei detriti marini. La NASA³ lo ha applicato ipotizzando di spargere in modo uniforme la plastica sulla superficie di tutti gli oceani e ha constatato che le zone di accumulo previste coincidono proprio con la collocazione attuale delle isole di

3. <https://svs.gsfc.nasa.gov/4174>

plastica. Lo stesso accordo fra previsioni e dati reali è stato riscontrato quando il percorso dei detriti portati dallo tsunami seguito al terremoto che ha colpito il Giappone nel 2011 ha ricalcato con buona accuratezza il movimento previsto da OSCURS. Tuttavia, la situazione attuale non è definitiva, ma è destinata a cambiare per effetto del riscaldamento climatico che sta già modificando il percorso e la velocità delle grandi correnti oceaniche.

Quali danni produce la plastica in mare?

Fra tutti i materiali che possono finire in acqua, la plastica è quella che può produrre danni (fig.3) in ogni forma e dimensione. Infatti nell'ambiente acquatico questo materiale si conserva benissimo e anche la vita delle plastiche biodegradabili è molto più lunga che sulla terraferma, perché tutti i fattori che ne facilitano la degradazione (calore, componente ultravioletta della luce solare e microrganismi) sono presenti in minore quantità o hanno meno forza⁴. Uno degli aspetti più evidenti dell'inquinamento marino da plastica è l'impat-

to visivo dei rifiuti che galleggiano o si arenano sulle spiagge. L'industria del turismo ogni anno deve sostenere costi elevati per pulire le aree costiere affinché non perdano la loro attrattiva. Ma questo non è l'unico problema.

Intrappolamento

Per troppi anni l'attenzione si è concentrata soprattutto sui materiali da pesca e da allevamento in mare aperto perché si riteneva – o faceva comodo ritenere – che le sole attività marittime fossero le responsabili dell'inquinamento marino, mentre invece lo sono solo per il 20%. Non è comunque un peso da poco: secondo i rapporti delle Nazioni Unite il peso delle attrezzature marine abbandonate, perse o dismesse negli oceani si aggira intorno alle 640.000 tonnellate, che corrisponde circa al 60% di tutte le macroplastiche presenti negli oceani e al 70% del peso di tutti i rifiuti galleggianti di grosse dimensioni. Anche se il fenomeno dell'abbandono in acqua delle reti danneggiate – che non conviene più riparare – si sta riducendo, forti correnti e tempeste, collisioni con altre attrezzature da pesca o scogli provocano

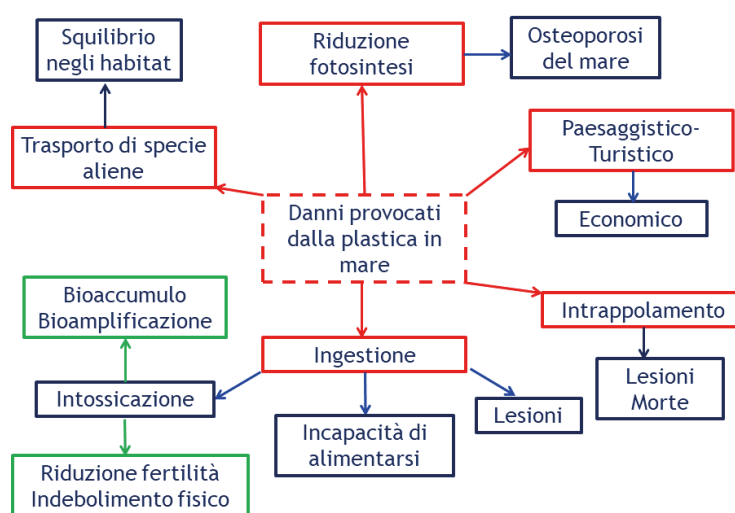


Figura 3. Danni prodotti dalla plastica in mare

4. Napper IE, Thompson RC. *Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier*

Bags in the Sea, Soil, Environ. Sci. Technol., 539:1039, 2019.

ancora la dispersione in mare di molto materiale non biodegradabile. Infatti, le reti e le lenze sono ora fabbricate con polietilene, nylon o polipropilene che le rendono più leggere, resistenti ed economiche rispetto a quelle tradizionali fabbricate a base di fibre (canapa, sisal, cotone, manila), che ne limitavano le dimensioni, la quantità di pesce pescato e richiedevano una manutenzione costante. I vecchi galleggianti sono stati sostituiti da oggetti prevalentemente di polistirene. Tramagli, nasse e trappole per pesci contribuiscono alla *pesca fantasma*, cioè la cattura continua di pesci e di altri animali (tartarughe, uccelli, mammiferi marini) che vi rimangono intrappolati e muoiono. Le reti a strascico e le reti di nylon che affondano, invece, danneggiano le barriere coralline e gli ecosistemi dei fondali. Ma ogni oggetto di plastica, indipendentemente dalla sua dimensione, può trasformarsi in una trappola mortale per una qualche specie acquatica.

Ingestione

Gli oggetti di plastica possono provocare danni per ingestione *passiva* o *attiva*. La prima riguarda le specie che nuotano, per così dire, *a bocca aperta* (mante, balene e altri cetacei) intercettando tutto quello che incontrano, e i molluschi, ognuno dei quali ogni giorno filtra in media decine di litri d'acqua. L'ingestione volontaria è invece dovuta al fatto che i frammenti/oggetti di plastica sono scambiati per cibo. In fondo i primi polimeri artificiali sono stati inventati proprio per sostituire materiali naturali troppo costosi e di difficile reperibilità grazie alle loro *capacità mimetiche*. Un altro fattore che li rende particolarmente *appetitosi* è l'odore conferito da alcuni additivi e dai biofilm di alghe e microrganismi che colonizzano le superfici, un *condimento aggiuntivo* come il sale e le spezie per noi. L'ingestione è dannosa perché può generare sazietà senza nutrire, causando il deperimento, ed eventualmente la morte per fame, ma... a stomaco pieno. Può anche succedere che pesci piccoli come le sardine inghiottano così tante biglie di plastica – una sorta di *galleggiante* interno – da non riuscire più a nuotare o a scendere rapidamente in profondità, per cui finiscono per mori-

re di fame o diventare facile preda degli uccelli marini.

Bioaccumulo e bioamplificazione

Di per sé stessa la maggior parte degli oggetti di plastica non è dannosa dal punto di vista chimico, ma può diventarlo da quello meccanico perché oggetti ingeriti dalle superfici appuntite, scheggiate o taglienti possono danneggiare l'apparato digerente. Ci può essere però un danno chimico secondario dovuto agli additivi che sono aggiunti a molti polimeri per migliorarne la lavorabilità (plastificanti) o alcune proprietà specifiche. Ma anche i polimeri privi di questi additivi, essendo sostanze idrofobe che tendono a catturare molecole che non stanno volentieri in ambiente acquoso, possono comportarsi come vere e proprie spugne che assorbono e concentrano sostanze organiche disperse in mare, come gli inquinanti organici persistenti (POP, persistent organic pollutants) che viaggiano da decenni nelle acque del pianeta. Quello che non è ancora certo è se i frammenti di plastica, una volta ingeriti, siano espulsi come rifiuti senza cedere le sostanze assorbitate oppure nel transito attraverso l'apparato digerente trasferiscano ai tessuti qualcosa del loro carico. Questo passaggio li farebbe entrare nella catena alimentare in cima alla quale ci siamo anche noi. La difficoltà nello stabilire una correlazione certa dipende dal fatto che negli studi di laboratorio si usano quasi sempre plastiche vergini, ben diverse dai frammenti la cui struttura è stata alterata, sbriciolata e ossidata dalla permanenza in acqua salata. D'altra parte, utilizzare i materiali recuperati in mare è altrettanto complicato, perché mancano informazioni essenziali sulla loro origine, permanenza in acqua e storia del singolo oggetto. Più i frammenti sono piccoli, più pervasiva e insidiosa è l'intossicazione che potrebbero provocare. Nella maggior parte dei casi le microplastiche e gli inquinanti non causano la morte degli individui, ma hanno un impatto negativo sulla qualità della vita. Le microplastiche (0,1-5 mm) sono state trovate ovunque e sarà così anche per le nanoplastiche (1-100 nanometri, ossia milionesimi di millimetro), che però richiedono attrezzature sofisticate per esse-

re individuate e analizzate e sono più pericolose perché possono attraversare le membrane biologiche. Di questi danni comunque si sente parlare, tuttavia ce ne sono altri due meno noti, ma da tenere sotto controllo.

L'osteoporosi del mare

Gli oceani sono il secondo polmone del pianeta perché la fotosintesi realizzata dal fitoplancton e dalle alghe nei suoi strati superficiali è responsabile della produzione di circa metà dell'ossigeno che respiriamo. In acque trasparenti quasi tutta la radiazione solare è assorbita nei primi 100-150 m, ma se c'è molto materiale disperso il percorso della luce nella colonna d'acqua è più breve e la fotosintesi meno efficiente. L'anidride carbonica non organica produce un aumento dell'effetto serra e rende le acque un po' più acide corrodendo gli scheletri e i gusci di carbonato di calcio di organismi marini come coralli, briozoi, molluschi, ricci di mare e crostacei.

Trasporto di specie aliene

La natura idrofoba delle materie plastiche favorisce la formazione rapida di biofilm, che promuovono l'adesione di molti organismi marini, e l'esposizione ai raggi ultravioletti ne cambia la composizione chimica e la carica superficiale, trasformandole in substrati adatti a microbi e batteri. I frammenti e gli oggetti di plastica possono quindi traghettare, in modo efficace e per lunghissime distanze, specie vegetali e animali invasive in ecosistemi privi dei loro predatori naturali. Lo tsunami del 2011 è stato un laboratorio ideale: solo sei anni dopo⁵ sono state trovate 280 specie marine di origine giapponese che si sono insediate con successo negli ecosistemi costieri di Canada e Stati Uniti.

Fino a oggi sono già state individuate nei detriti di plastica più di mille specie di alghe e batteri, compresi i vibrioni, responsabili di colera e altre malattie gastrointestinali. Questi microrganismi potrebbero diventare veicolo di infezioni ed

epidemie e causare problemi agli allevamenti di pesce, contaminare i batteri impiegati nei depuratori o infettare chi nuota vicino alle spiagge.

Che cosa possiamo fare?

I media – e non solo loro – si sono molto affezionati al progetto Ocean Clean up presentato nel 2012 alla TEDx talk a Delft da Boyan Slat, uno studente olandese di sedici anni, che ha raccolto con una breve campagna di crowdfunding i finanziamenti necessari per lo studio di fattibilità e lo sviluppo dei primi prototipi di un sistema a barriere galleggianti per catturare e raccogliere la plastica che galleggia nell'isola di plastica del Pacifico settentrionale. Nonostante il riscontro mediatico, ci sono molte ombre sul senso di un'operazione di questo tipo, perché quello che galleggia è solo la punta dell'iceberg e il sistema di boe galleggianti è progettato per catturare solo oggetti di dimensioni superiori a 1 cm, quindi resteranno fuori tutte le microplastiche che costituiscono oltre il 90% di tutti i detriti in mare. È vero che il maggiore contributo in peso è dato dagli oggetti più grandi, ma si tratta solo dello 0,2% del totale: *una goccia in un mare*. Se poi la plastica che galleggia sugli oceani è solo l'1-8% di tutti i detriti, ha senso spendere cifre astronomiche quando tutto il resto è altrove? Allora, perché questo progetto piace così tanto? Perché non dobbiamo fare niente, tanto ci pensano le boe. Non disturba le multinazionali, tampona un po', ammesso che possa fare qualcosa, ma non mette in questione l'andamento di produzione, gestione e consumo attuali delle materie plastiche. Il capitano Moore ha commentato in modo lapidario: "Se il diavolo avesse voluto escogitare un modo per bloccare il movimento per la riduzione della plastica, non avrebbe potuto fare meglio di quanto ha fatto Boyan".

I progetti di pulizia in mare e sulla terra si stanno moltiplicando, però pensare solo a rimuove-

5. Carlton JT et al., *Tsunami-driven rafting: Transoceanic species dispersal and implications for marine biogeography*, Science, vol 357: 1402-1406, 2017.

re la plastica senza cercare anche di bloccare il flusso dei rifiuti sarebbe come *asciugare l'acqua dal pavimento senza chiudere il rubinetto della vasca*. Nonostante la qualità indubbia di alcune proposte, *nessuna da sola* può fornire la *vera soluzione definitiva* che consiste nell'affrontare alla radice le cause dell'inquinamento da plastica prevenendone l'immissione in mare dalle coste, dai fiumi e dagli ambienti terrestri. È anche più efficace intercettare i rifiuti di plastica appena sono prodotti, prima che comincino a degradarsi e, soprattutto, prima che abbiano prodotto danni all'ambiente. Ma è soprattutto urgente interrompere questa folle spirale di produzione e spreco di plastica, un materiale fantastico che non va demonizzato, ma che merita di essere gestito in modo più razionale e responsabile.

È un'azione corale in cui ogni soggetto coinvolto è protagonista, non solo le aziende, gli enti locali e nazionali, le grandi agenzie sovranazionali, ma anche i singoli cittadini, nessuno escluso.

C'è lavoro per tutti! ●

Bibliografia

Polo E, *L'isola che non c'è. La plastica negli oceani fra mito e realtà*, Bari, Edizioni Dedalo, 2020

Heinrich Böll Foundation, *Ocean Atlas, Facts and Figures on the Threats to Our Marine Ecosystems*, Berlino, 2017, www.boell.de/en/

UNEP, *Marine Litter Vital Graphics*, <http://www.grida.no/publications/60>

Ocean Conservancy, *Stemming the Tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean*, 2017, www.oceanconservancy.org/



Eleonora Polo *L'isola che non c'è.* *La plastica negli oceani fra mito e realtà*

Edizioni Dedalo, 2020



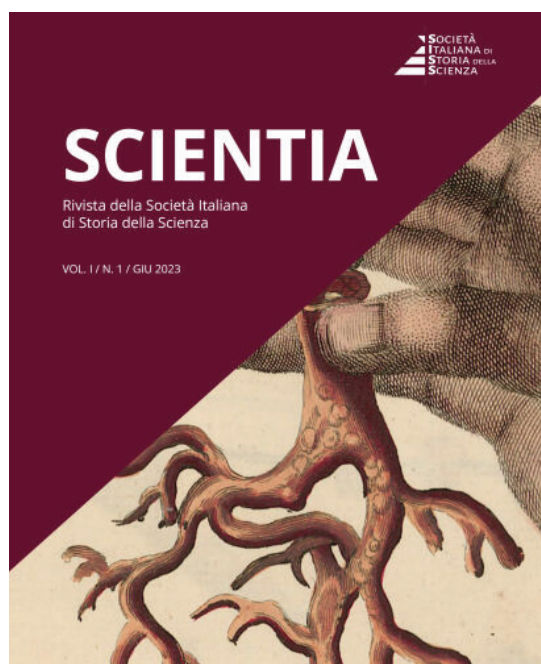
Le isole di plastica sono cinque, undici o una sola molto grande? Ci possiamo camminare sopra? Perché non si vedono con Google Earth? È vero che nel 2050 in mare ci sarà più plastica che pesci?

Un libro per rispondere a queste e a tante altre domande. Non mancheranno le sorprese.

Isole di plastica: tutti ne parlano, ma non sono sulle cartine geografiche. Eppure nessuno dubita della loro esistenza, anche se circolano idee fantasiose sul loro aspetto. Sono le isole di plastica degli oceani. E c'è un mistero da risolvere: se ogni secondo finiscono in mare 300 kg di plastica, perché non aumenta allo stesso modo la quantità di plastica in superficie? Dove va a finire tutto il resto? Lo mangiano i pesci? Si disintegra in frammenti così piccoli che non riusciamo più a vederli?

Questa zuppa di plastica è ovunque, e dal mare al nostro piatto il percorso è veramente breve.

Scientia
Rivista della Società Italiana
di Storia della Scienza



Fiocco rosa per la nascita di una nuova rivista: *Scientia. Rivista della Società Italiana di Storia della Scienza* che pubblica contributi di storia delle scienze, della tecnologia e delle tecniche in tutte le declinazioni storiografiche sviluppate negli ultimi decenni. La pubblicazione di una nuova rivista di storia della scienza è un avvenimento di importanza per gli *studia* del settore, ma in questo caso assume anche una rilevanza editoriale diventando, di fatto, l'organo ufficiale della Società Italiana di Storia della Scienza (SISS).

Il nome scelto evoca la gloriosa rivista diretta da Enriques, Rignano, Bruni, Dionisi e Giardina (1907), tuttavia gli scopi della pubblicazione appaiono profondamente mutati rispetto a quelli declinati dai direttori di quel giornale, edito per la prima volta oltre un secolo fa. Ciò che unisce idealmente a loro è l'interesse per quella forma di sapere che si suole indicare con il nome di *scienza*. Essa viene analizzata

e studiata muovendo da un approccio storico. L'ideale di sintesi assume in questa nuova rivista la forma di una prospettiva storicamente fondata attraverso la quale restituire non solo la trama della complessità del percorso evolutivo delle singole discipline, ma anche i nessi tra saperi scientifici, tecnici e tecnologici attraverso il metodo comparativo e la pratica della transdisciplinarietà. Il progetto editoriale è, perciò, quello di una rivista che, pur essendo ancorata alla SISS, guardi oltre i confini scientifico disciplinari con una vocazione dichiaratamente internazionale. Di qui la scelta di utilizzare come lingua non solo l'italiano, ma anche l'inglese. Essendo nata all'interno di un'area e volendo servire soprattutto a diffondere le ricerche di questo settore, in particolare quelle dei colleghi più giovani, *Scientia* tiene conto, nell'articolazione delle sue rubriche, del complesso quadro delle indagini sulla storia delle scienze in Italia e dell'agenda di attività che la Società si è data in questi anni.

Accanto ai tradizionali articoli di ricerca, il lettore troverà approfondimenti sulle diverse forme di didattica della storia della scienza e sullo studio e sulla valorizzazione del ricco patrimonio storico-scientifico italiano, oltre a biografie di scienziati e tecnici italiani e segnalazioni di libri, mostre e progetti tematici di storia della scienza.

La Rivista è pubblicata con cadenza semestrale in versione cartacea e in open-access nel sito <https://www.rivistascientia.it/> con articoli sia in italiano che in inglese. Pur presentando gli stessi contenuti del formato cartaceo, sia con un testo fluido che in pdf, la piattaforma sul web non vuole essere un mero duplicato della copia a stampa, quanto piuttosto un cantiere aperto di risorse, notizie e contenuti liberamente accessibili online, rivolti a tutti gli interessati, in un'ottica di piena condivisione che guida tutte le attività dell'associazione.

uno scatto alla natura

Il groviglio amoroso delle limacce

testo e foto di Raffaello Corsi



Accoppiamento di due *Limax corsicus*. Foto scattate nella Riserva Naturale del Padule di Bientina (Oasi WWF del Bottaccio) nel 1994 (macchina fotografica reflex Yashica FX-3 analogica, Obiettivo 50 mm, diapositive Kodachrome Professional).

Le lumache o limacce (genere *Limax*) sono Gasteropodi Polmonati che vivono soprattutto nelle zone più ombrose dei boschi di latifoglie e si muovono tra la vegetazione ancora umida, soprattutto nelle ore del mattino o verso il tramonto, quando la loro cute si disidrata di meno.

Le limacce, come le chiocchie e la gran parte dei Gasteropodi polmonati, sono *ermafroditi insufficienti*; sebbene ciascun individuo sia dotato di entrambi gli organi riproduttivi maschili e femminili, questi molluschi non possono compiere autofecondazione e, per riprodursi, debbono unirsi in accoppiamento con un partner della stessa specie, dando luogo ad amplessi amorosi particolarmente complessi e spettacolari.

Nelle foto della pagina precedente è raffigurata la sequenza dell'unione sessuale di due limacce appartenenti al gruppo *Limax corsicus*; tra l'altro, la modalità e la sequenza con cui gli eventi si susseguono nell'accoppiamento è uno dei criteri distintivi per la classificazione delle diverse specie del gruppo.

Nel nostro caso:

1. per prima cosa le due lumache si ancorano bene ad un sostegno (nelle foto è stato scelto un ramo di *Robinia pseudacacia*) producendo un robusto e spesso cordone di bava; poi si arrotolano a spirale l'una con l'altra, iniziando lentamente a roteare appese al cordone di sostegno;
2. dal poro genitale, situato al lato destro della testa, ciascuna lumaca inizia ad estroflettere il proprio apparato riproduttore (di colore bianco) che va ad avvicinarsi e a cercare quello del partner;
3. man mano che il lungo apparato genitale viene estroflesso, si avvolge a spirale con quello dell'altra lumaca ed avviene lo scambio reciproco di gameti;
4. nell'avvinghiamento, gli ovidotti (parte di colore bianco più intenso) vengono confinati verso il basso, roteando lentamente su sé stessi.

Tutta l'operazione può durare diverse ore e, al termine, ciascuna lumaca retrarrà il proprio apparato genitale, risultando fecondata. ●

***Limax corsicus*: un esempio di radiazione adattativa**

Recenti ricerche sulle lumache terrestri del genere *Limax* condotte sia su base morfologica che mediante marcatori molecolari¹ sembrano suggerire che una sistemazione tassonomica esaustiva per questi molluschi polmonati sia ancora in buona parte da definire.

Ad esempio, per *Limax corsicus* qui raffigurata, gli studi sembrano dimostrare che in realtà questo Gasteropode presenta due distinti gruppi monofiletici di 6-10 specie ciascuno, frutto di radiazione adattativa:

- le specie del primo gruppo (presente nelle isole dell'Arcipelago Toscano e nella Corsica) hanno piccole variazioni rilevabili con il DNA barcoding a livello del gene mitocondriale della citocromo ossidasi (sequenze COI);
- le specie del secondo gruppo (*Gruppo Corsicus*, presente anche nella Penisola Italiana) hanno differenze sottili non rilevabili nei marcatori genetici, ma che si manifestano proprio in piccolissime variazioni del modo di riprodursi e nelle diverse fasi dell'accoppiamento; tali differenze – che probabilmente sono frutto di una radiazione adattativa più recente – sarebbero comunque sufficienti a determinare, in questo secondo gruppo di limacce, un isolamento riproduttivo che favorisce la speciazione.

1. Nitz B, Falkner G, Haszprunar G, (2010). *Inferring Multiple Corsican Limax (Pulmonata: Limacidae) Radiations: A Combined Approach Using Morphology and Molecules*, in Glaubrecht M (ed) *Evolution in Action*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010:405-435.

Percorsi, non sempre facili, di donne in astronomia

Nicoletta Lanciano

The text presented is part of a broader research of analysis of the discriminations that in Western history have been repeated by males against women with particular attention to the scientific communities: with respect to Astronomy, the paths of women who have had to face difficulties, which have suffered abuses, and whose discoveries have not been recognized. Some psychological consequences of considering science as a male activity are presented. The achievements and contributions of women in Western astronomy are highlighted.

Keywords: *Women and science, Discrimination, Matilda effect, Gender bias*

Introduzione

Margherita Hack è stata la prima donna in Italia a dirigere un Osservatorio Astronomico e tra i suoi contributi ha voluto rileggere la storia dell'astronomia con lo spirito della sua lotta per i diritti delle donne nella scienza, menzionando molti dei soprusi subiti da altre ricercatrici.

Nel testo che segue vengono esplicitati elementi della biografia di donne astronome che hanno avuto il privilegio di essere le prime a fare ciò che era "previsto solo per i maschi", come osservare ad un telescopio di notte o intervenire in un convegno internazionale, ma vengono presentati anche elementi di disagio che le hanno portate ad affrontare conflitti e ad essere discriminate a causa del genere. Obiettivo della ricerca è da un lato evidenziare le cancellazioni subite dalle donne nella storia della scienza limitata al mondo nord-occidentale, perché i documenti storici riportano solo atti pubblici prevalentemente redatti da maschi e a loro relativi, per cui il ruolo delle donne non è documentato, non è riconosciuto e non è entrato nella storia; dall'altro lato mettere in risalto e riconoscere una maternità a tante scoperte fatte da donne nel campo dell'astronomia, anche se in un primo momento, in molti casi, sono state indotte a ritenerle di secondaria importanza o forse errate rispetto alle idee prevalenti degli scienziati dell'epoca. Queste tematiche hanno una particolare valenza per il mondo della scuola, ma anche della divulgazione scientifica nella nostra società, permeata da una cultura in cui il racconto della storia, il pensiero etico e filosofico, come le arti e le scienze, sono state organizzate e gestite essenzialmente dai ma-



schì. Tutto ciò, se negato e non riconosciuto, porta, anche in modi inconsapevoli, genitori, insegnanti e comunicatori ad avere con le femmine attese e proposte diverse rispetto ai maschi, con minore presenza di temi scientifici nei giochi, nelle letture e nella conversazione fin dalla prima infanzia.

I percorsi delle donne nelle scienze e nell'astronomia permettono di mettere in evidenza chiare discriminazioni di genere, anche in tempi recenti e attuali. Non cito numeri relativi alla presenza delle donne in posizioni apicali, ma piuttosto alcuni esempi, non esaustivi, delle loro difficoltà e delle cancellazioni subite.

Le conseguenze di tali difficili percorsi sono molteplici, tra queste la mancata presenza dei loro nomi nella storia dell'astronomia fino a tempi molto recenti, il mancato riconoscimento delle loro scoperte e della maternità di alcune ipotesi e leggi in seguito riconosciute come valide. La mancanza di riferimenti a donne scienziate nei libri di testo e nell'insegnamento scientifico è un fattore che non aiuta le ragazze a scegliere percorsi di studio in campo scientifico. Come scriveva nel 1993 Maria Teresa Segà¹: "L'assenza di soggetti femminili nei manuali scolastici nega alle ragazze la possibilità di appartenere, attraverso il riconoscimento di proprie simili, alla dimensione della storia". Questo è particolarmente grave nella scuola e nella formazione degli insegnanti. Nessun uomo si presenta dicendo sono un uomo, mentre una donna spesso si trova a doverlo sottolineare, come nessun bianco pensa che sia utile o necessario dichiarare essere di pelle bianca mentre, per una persona di pelle nera, il colore della sua pelle è spesso oggetto di dichiarazione perché, come Bell Hooks² ribadisce tante volte nei suoi scritti, un americano è diverso da un afro-americano.

Quindi nella società ci troviamo di fronte ad una narrazione della storia della scienza come se ci

fosse un'unica storia, universale e neutra, mentre si tratta per lo più di una storia di genere, essenzialmente "di genere maschile".

Nella ricerca e nelle comunità scientifiche si parla di *Gender data gap* o "grande gap", ma troppo spesso vengono sottolineati solo valori quantitativi nella differenza tra presenze maschili e femminili nelle posizioni apicali e nelle citazioni dei lavori prodotti. I numeri sono, a mio avviso, il prodotto di ben altre questioni che cerco di illustrare in questo lavoro. Rispetto a queste tematiche, l'inserimento delle donne nella storia ne modifica il racconto, fa emergere aspetti non previsti, permette di entrare a volte in quella microstoria che, meglio del susseguirsi di conquiste di terre e di regnanti, restituisce il sapore di un contesto culturale e di un'epoca, del come e cosa si studiava, quali lingue si parlavano e altri aspetti di vita quotidiana.

Cancellazioni

Molto spesso le presenze femminili sono state travisate in una interpretazione fuorviante: le donne sono infatti chiamate "streghe, pazze, genio maligno e non scientifico, demoniache" e sono messe in ridicolo, invece di riconoscere in loro donne sapienti, guaritrici, persone originali e creative. Sono anche accusate di esercitare riti pagani e di "essere emotive"; finalmente anche autori maschi sono convinti, come il neuroscienziato J. LeDoux, che "in generale non c'è apprendimento significativo senza emozione"³.

L'esempio di Margaret Cavendish (1623-1673) è significativo: esclusa come molte altre donne dalle università, ma prima donna ad essere ammessa a una riunione della Royal Society, fu versatile e critica, ma per la sua eccentricità era detta ed è ricordata come "Maggie la pazza".

Le donne non hanno firmato i loro lavori perché non potevano fare carriera né partecipare ai Con-

1. Segà MT, *Ricerca storica delle donne e didattica della storia*, in AAVV, *Generazioni, trasmissione della storia e tradizione delle donne*, Torino, Rosenberg&Sellier, 1993, 1.

2. Bell Hooks, *Insegnare a trasgredire*, Milano, Meltemi, 2020.

3. LeDoux J, *Il cervello emotivo*, Milano, Baldini & Castoldi, 1996.

gressi e quindi hanno “regalato” il frutto del loro lavoro di calcoli, di analisi dei dati, di intuizioni ai loro mariti, figli, colleghi.

Le donne, in paesi ed epoche diversi, hanno subito esclusioni che oggi, in Italia, fanno sorridere e non se ne capisce il senso: ad esempio Annie Jump Cannon (1863-1941) fu la prima assistente donna ad Harvard a poter osservare di notte al telescopio, mentre prima alle donne era permesso solo leggere le lastre ed elaborare dati raccolti da maschi.

L'esclusione delle donne dalle Accademie, dalle Università e da diversi ruoli anche negli Osservatori Astronomici è stata una condizione persistente. Nel 1925, all'Osservatorio di Harvard, Cecilia Payne (1900-1979) rinuncia a mostrare le sue scoperte. Anzi è costretta a corroborare le tesi del suo avversario scientifico, il direttore Shapley, ed è invitata a sostenere che “quasi sicuramente non sono veritiere” le ipotesi da lei formulate e, quindi, le conseguenze dei dati da lei elaborati. Si sente costretta a simulare di aver cambiato la sua posizione, per non contraddire un maschio ritenuto autorevole. Le sue ipotesi saranno poi confermate, ma il merito della scoperta è stato attribuito al direttore dell'Osservatorio.

Le donne sono costrette a rinunciare alla loro ricerca, a fare “da spalla” ai maschi. Ad esempio Carolina Lucretia Herschel (1750-1848), sorella del ben più famoso William, astronoma a sua volta, che studiava nebulose e ammassi di stelle, scrive: “le volevo catalogare, ma alla fine del 1783 ne avevo scoperte solo quattordici quando le mie ricerche vennero interrotte perché avevo avuto l'incarico di trascrivere le osservazioni che mio fratello aveva fatto con il (telescopio da) venti piedi”.

Anche Williamina Fleming (1857-1911) scrive che “si deve accantonare tutto ciò che si considera interessante per dedicare gran parte del tempo disponibile a preparare il lavoro altrui per la pubblicazione”⁴.

L'effetto Matilda

Assistiamo quindi nella storia ad un diffuso mancato riconoscimento delle donne. In particolare, è difficile trovare notizie certe e ben documentate di astronome dell'antichità e comunque prima di Ipazia, vissuta e trucidata ad Alessandria d'Egitto nel IV sec d.C.: mentre i filosofi e i sacerdoti fuggivano da Alessandria, il suo insegnamento presso il Museo attirava studiosi da tutto l'impero. Forse Ipazia, che aveva rivisto il Commento al testo di Tolomeo come scrive suo padre Teone, aveva osato discutere questioni sul calendario e sulle coniche, e la ricerca è aperta anche perché sono pochi i suoi testi ripresi da studiosi vicini nel tempo alla sua colpevole uccisione⁵.



Ipazia

Astronoma e Alta sacerdotessa della dea della luna è En-Edu-Anna (Eneuhanna) vissuta a Babilonia nel 2400 a.C. sotto l'imperatore Sargon, forse sua figlia, autrice di testi analoghi a quelli assai più celebri raccolti sotto il titolo *Enuma Enlil*. Sono suoi i versi:

La donna che possiede una saggezza
straordinaria
Consulta una tavoletta di lapislazzuli,
Dà consiglio a tutte le terre.
Misura i cieli,
Posa i cordoni sulla terra⁶.

4. Sobel D, *Le stelle dimenticate*, Milano, Rizzoli, 2017

5. Ronkey S, *Ipazia. La vera storia*, Milano, BUR, 2011;

Beretta G, *Il genio femminile nell'antichità. Ipazia* https://www.youtube.com/watch?v=-QB-JepIT_YA; Lanciano N e Montinaro R, *In altri termini*.

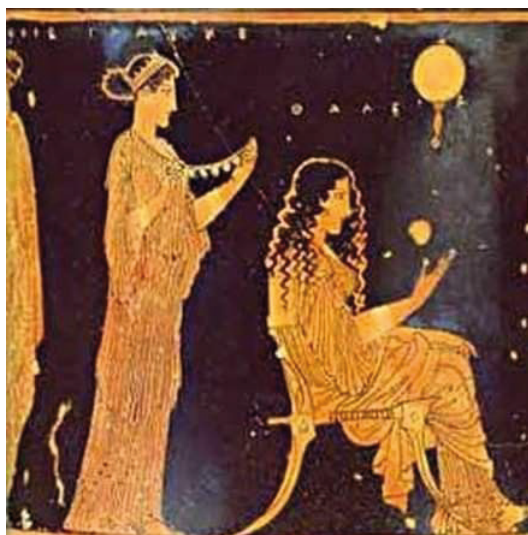
Materiali per laboratori di geometria: Didone, Euclide, Ipazia, Galileo, RicercAzione MCE, ebook.

6. Giangulano L, *L'ingegno di Minerva. Brillanti scienziate dall'antichità ad oggi*, Milano, Corriere della sera, 2022, 32.

Altro nome di cui si hanno poche e incerte tracce è Aganike, figlia del faraone Sesostri, vissuta in Egitto intorno al 1900 a.C. Ad Aganike è attribuita la spiegazione del meccanismo delle eclissi di Luna. “Dicono, che una certa Aglaonice, figlia di Egamone Tessaliense, stava osservando sul Monte Ossa la Luna, dalla quale tirava poscia i suoi pronostici per le cose avvenire, e che essendo veduta da varie femmine ignoranti, fu da esse accusata, come se tentasse di far cadere dal Cielo la Luna, e perciò venne precipitata dal suddetto monte”. Questo riporta Giuseppe Ricchino Malatesta, nel *Corpus omnium veterum poetarum Latinorum cum eorundem italica versione*, del 1752. Plutarco scrive di lei che fingeva di essere maga e di saper far scomparire la Luna perché sapeva predire le eclissi.

Del resto nella famosissima pittura di Raffaello (1509-1511) *La Scuola di Atene*, che si trova nei Musei Vaticani, tra i tanti scienziati, filosofi, artisti dell'antichità classica greca si indovina solo il volto di una donna che forse è Ipazia.

In tempi molto più recenti abbiamo l'esempio di altre donne di cui è cancellata la grandezza, come Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) che formula per prima la legge periodo-luminosità delle stelle Cefeidi, utile per stimare distanze nello spazio cosmico, ma questa legge non ha il suo nome.



Aglaonice (Egitto, Il millennio a.C.) osserva la Luna sul Monte Ossa

Nessuno si è sentito in dovere di scusarsi con le donne a cui non erano state riconosciute scoperte, quindi rotture importanti con il passato, scoperte che dopo un primo disconoscimento sono state accolte dalle comunità scientifiche, ma intanto il merito ne era stato attribuito ad altri.

Per questo nel 1852, alla Convenzione nazionale sui diritti delle donne a New York, la femminista statunitense Matilda Joslyn Gage disse che la storia era stata distorta ed era essenziale per la causa dei diritti delle donne rimettere a posto le cose. Dal suo nome, la storica della scienza Margaret W. Rossiter nel 1993 definisce “effetto Matilda” quel fenomeno per il quale, specialmente in campo scientifico, il risultato del lavoro di ricerca compiuto da una donna viene in tutto o in parte attribuito ad un uomo e di conseguenza porta ad un mancato riconoscimento delle donne nelle scienze, che restano nell'anonimato. Questa “invisibilità” ha fatto passare l'idea, ancora oggi molto radicata, di una minore inclinazione naturale delle donne per la logica e le STEM, l'idea che la scienza sia una cosa da uomini: ciò provoca spesso nelle bambine e nelle ragazze lo sviluppo di un pericoloso condizionamento psicologico, una mancanza di autostima, una carenza nella fiducia in se stesse, una percezione di non essere adatte alle scienze, di mancanza della capacità di capire e poter dare contributi in molti settori del sapere, che le porta poi ad evitare, anche con dolore e frustrazione, certe discipline⁷.

Un esempio della coscienza di essere considerata a priori non affidabile e non abbastanza competente per proporre un proprio testo ad un pubblico colto è rappresentato dall'astronoma Maria Cunitz (1610-1664), di famiglia ebrea, che vive in Polonia ed elabora le posizioni dei pianeti, corregge errori di Keplero e semplifica le sue monumentali e difficili *Tabelle*, ma quando nel 1650 pubblica un testo, peraltro assai notevole, dal titolo *Urania Propitia*, nella Prefazione sente il bisogno di rassi-

7. Gage MJ, *Woman as an inventor*, Woman Suffrage Tracts 1. Fayetteville, New York 1870 e North American Review 136, 1883:318.

curare “i lettori della sua competenza”, cosa di cui un maschio, di solito, non sente la preoccupazione. Tra le donne di cui abbiamo notizie alcune sono state particolarmente caparbie e volitive e si sono vestite da maschi per poter accedere agli studi, per poter dialogare con scienziati importanti, e per poter pubblicare sotto falso nome hanno preso nomi maschili, si sono tagliate i capelli e hanno nascosto il loro corpo per potersi presentare come maschi ed essere prese in considerazione da altri scienziati. Un caso assai antico riguarda ad Atene nel IV secolo a.C., la medica Agnodice che dovette vestirsi da maschio per poter studiare medicina e lavorare; in tempi molto più vicini, all'Osservatorio di Berlino, l'astronoma Maria Winkelmann Kirch (1670-1720) si doveva nascondere e risultava solo l'assistente non ufficiale del marito. È la prima donna di cui si sa che ha scoperto una cometa, nel 1702, ma inizialmente non le è stato riconosciuto tale merito che fu assegnato al marito Gottfried Kirch. Quando la conduzione dell'Osservatorio fu presa dal figlio lei si doveva ancora nascondere quando arrivavano all'Osservatorio dei visitatori esterni; anche la matematica Sophie Germain (1776-1831) ha usato più volte lo pseudonimo di Monsieur Antoine-August Le Blanc per corrispondere e incontrare grandi matematici europei.

Andrebbe poi nominata Sophie Brahe (1556-1643) che fece osservazioni astronomiche con il fratello Tycho, ma lo studio *De stella nova* è stato pubblicato solo con la firma del fratello. Pierre Gassendi, nella sua biografia di Tycho, ha messo però in evidenza le straordinarie conoscenze di Sophie nei campi della matematica e dell'astronomia. Tra i contributi delle donne all'astronomia vi è il lavoro grafico molto accurato di Maria Clara Eimmart (1676-1707), una delle prime donne che fa disegni per illustrare testi di astronomia (in parte conservati e visibili nel Museo della Specola di Bologna). (1647-1693). In Polo-

nia Elisabetta Koopman Hevelius sposa il commerciante Johannes Hevelius e con lui costruisce un osservatorio privato. Con tenacia e costanza ha indicato la posizione esatta di circa 2000 stelle senza l'aiuto del telescopio.

La fisica Evelyn Fox Keller (1936) di famiglia ebrea, resasi conto dell'alta percentuale di donne che affrontano e poi abbandonano il mondo della ricerca, ne ha individuato la causa nella diffusa convinzione che la scienza sia considerata un'occupazione maschile. Lei stessa ha abbandonato la sua carriera scientifica, con un distacco doloroso, per seguire il marito in California. Fox Keller si è interrogata sull'origine del pregiudizio sessista e sulle sue conseguenze. È passata quindi dal “fare scienza” allo “scrivere di scienza”, approfondendo sempre più il suo interesse per gli aspetti psicologici, filosofici e storici della ricerca, indagando in particolare le connessioni tra genere e scienza. È famosa la sua affermazione “Mentre la scienza è venuta a significare oggettività, ragione, freddezza, potere, la femminilità ha assunto il significato di tutto ciò che non appartiene alla scienza: soggettività, sentimento, passione, impotenza”⁸. Negli anni '80 ha pubblicato due importanti testi: *A Feeling for the Organism. The Life and Work of Barbara McClintock*, nel 1983, e *Reflections on Gender and Science* nel 1985, entrambi tradotti in italiano.

L'harem di Pickering

Molte sono le astronome che, tra fine Ottocento e inizio Novecento ad Harvard, negli USA, hanno lavorato nell'Osservatorio diretto prima da Pickering e poi da Shapley. La divulgatrice scientifica Dava Sobel⁹, nel suo testo *Le stelle dimenticate*, sottolinea come progresso sociale e scientifico procedono di pari passo, e affronta una problematica simile a quella del film *Il diritto di contare*. Il tema dell'esclusione delle donne, in un'epoca i cui non avevano diritto di voto, era

8. <http://www.universitadelle-donne.it/foxxkeller.htm> 9. Sobel D, op. cit.

evidente tanto che “nel 1897 Pickering [...] pensò anche che sarebbe stato fantastico, un giorno, assegnare la medaglia [...] ad una donna e aggiunse questa possibilità ai criteri di idoneità: ‘Cittadini di qualunque paese, persone di entrambi i sessi’”. Tra queste astronome ci sono Williamina Paton Stevens Fleming, che entrò come governante in casa del Direttore dell'Osservatorio di Harvard, Edward Pickering che, non contento del lavoro di alcuni suoi collaboratori, la assunse poi per eseguire dei calcoli. Divenne la prima donna ad avere un titolo ufficiale all'Università di Harvard. Catalogò oltre 9000 stelle in 9 volumi che furono stampati con il titolo di *Draper Catalogue of Stellar Spectra*. Fu direttrice del laboratorio fotografico e nel 1910 pubblicò la sua scoperta delle nane bianche. Assunse molte collaboratrici donne che si rivelarono scelte molto proficue. Il gruppo delle 45 scienziate venne chiamato “harem di Pickering”: classificavano i materiali fotografici che i maschi osservavano ai telescopi, lavoro a cui le donne non erano ammesse.

Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), laureata in astronomia in un College per sole donne, scoprì la relazione periodo luminosità delle stelle Cefeidi, le prime osservate nelle Nubi di Magellano, con cui dare una stima delle misure nell'universo. Ideò con altre un singolare strumento per leggere gli spettri che chiamarono lo “sculacciamosche”.



Le astronome dell'"harem di Pickering" ad Harvard

Distrusse l'ipotesi dell'universo monogalattico: infatti, con la scoperta delle Cefeidi nella nebulosa di Andromeda si poté dare una scala alla distanza di tale nebulosa che si dovette riconoscere come una galassia a sua volta, esterna quindi alla galassia “Via Lattea”. Ma la Leavitt fu candidata al Nobel troppo tardi, nel 1926, dopo la sua morte. Annie Jump Cannon si laurea in una università per solo donne nel Massachusetts. Con Henry Draper lavora al Catalogo HD, dal nome del finanziatore maschio. Crea un sistema di classificazione delle stelle in classi spettrali a partire dai sistemi di Williamina Fleming e Antonia Maury, che già avevano sostituito le lettere ai numeri romani della classificazione di Padre Angelo Secchi, aumentando le categorie delle stelle in base allo spessore delle singole linee spettrali. La nuova sequenza OBAFGKM è adottata nel 1922 a livello internazionale: peraltro la sequenza di lettere si ricorda grazie ad una frase sessista ideata da un maschio di Princeton: *oh be a fine girl kiss me*; inoltre, non si dice, di solito, che Hertzsprung criticò apertamente tale sistema di classificazione definendolo “troppo semplicistico”, “grottesco e casuale” che non creava nessuna immagine utile, mettendola in ridicolo. Ritenuta dal 1911 la più esperta al mondo in spettroscopia ebbe la cattedra solo nel 1938 a 75 anni.

Cecilia Payne Gaposchkin studiò in una scuola femminile negli USA e ad Harvard. Ha studiato le atmosfere stellari e determinato la loro composizione chimica: ha capito e ha dimostrato che l'idrogeno è l'elemento chimico più abbondante nel Sole e nelle altre stelle, ed è nelle stelle un milione di volte maggiore che sulla Terra. Ma gli astronomi Russell e Shapley, il nuovo Direttore dell'Osservatorio di Harvard, affermavano l'impossibilità di tale ipotesi. Cecilia Payne Gaposchkin ha dedotto anche che la luce delle stelle è assorbita da un elemento “ostacolante”. Anche in questo caso fu indotta, in un primo momento, a cambiare la sua posizione e a dar ragione al Direttore.

Antonia Maury (1866-1952) fu la prima donna a rilevare oggetti celesti completamente nuovi, le stelle binarie spettroscopiche, con il metodo della

fotografia spettrale. È suo il grafico delle variazioni di β Aurigae, la binaria spettroscopica da lei scoperta 1889 per la quale trovò un periodo di quattro giorni: ma alcuni accademici considerarono le sue deduzioni sulla rotazione delle due stelle una intorno all'altra frutto di mera fantasia. Inoltre, fu in disaccordo con Russell (firmatario in seguito del diagramma Hertzsprung-Russell) che sosteneva che le stelle nascono rosse, poi si riscaldano e diventano bianche, per infine tornare rosse. Maury aveva ragione, tutti conosciamo il diagramma H-R che si trova nei libri di testo, ma il nome della Maury non è associato al diagramma che si studia a scuola, anche se è riportato nei manuali più completi di Astronomia.

La fisica Lise Meitner (1878-1968) di origine ebrea, ha collaborato con il chimico Hahn, ma da convinta pacifista prese una posizione netta contro l'uso bellico delle sue scoperte sulla fissione nucleare e non si trasferì negli USA per non collaborare al Progetto Manhattan con Fermi: come altre donne scienziate è stata ostacolata anche perché antimilitarista. Nel 1944 ad Hahn è stato dato il Premio Nobel per la chimica, e lei gli ha scritto una lettera amareggiata, per non aver potuto condividere il premio per quella bella scoperta: i suoi studi sono stati riconosciuti 30 anni dopo la sua morte. Forse anche per questo il Nobel è stato definito da qualcuno "una malattia maschile".

La fisica cinese Chien-Shiung Wu (1912-1997) ha partecipato con Fermi al progetto Manhattan e ha ottenuto un risultato notevole e decisivo: un procedimento per la produzione dell'isotopo dell'uranio (U-235) che sarebbe poi diventato la "materia prima" delle armi nucleari. Ha dimostrato che "il principio di conservazione della parità" ritenuto intoccabile, non è sempre valido in ambito subatomico. Malgrado la prova empirica fosse sua, nel 1957 il Nobel è stato dato a due maschi che avevano enunciato teoricamente questo comportamento.

L'astrofisica britannica Jocelyn Bell (1943) nel 1967 ha scoperto, quando era dottoranda, le prime stelle pulsar ma il Nobel per la fisica con le pulsar lo hanno vinto due maschi, il prof Anthony Hewish e Martin Ryle nel 1974 e a Stoccolma

nemmeno la nominano. Scrive Pietro Greco: "La vicenda suscita clamore e a scendere in campo a favore della ragazza è, addirittura, Fred Hoyle. Nel 2004 la Bell firma un editoriale della rivista americana *Science* in cui sostiene: 'non lo ho avuto io solo perché ero una studentessa e una donna'".

Eleonor Margaret Peachey Burbidge (1919-2020) è ben nota per l'attivismo contro il sessismo in astronomia. Le era stata rifiutata la borsa di studio post dottorato nel 1945, poiché il lavoro si svolgeva all'Osservatorio di Monte Wilson, che all'epoca era riservato ai soli uomini. Con il marito Geoffrey Burbidge era stata invitata a lavorare con William Alfred Fowler e Fred Hoyle, all'Università di Cambridge, sull'abbondanza di elementi chimici nelle stelle e insieme hanno dimostrato che gli elementi pesanti sono prodotti dentro le stelle. Solo Fowler ebbe il Nobel per la fisica nel 1983. Anche in seguito la domanda di Margaret presso l'Osservatorio di Monte Wilson fu respinta per motivi di genere.

Vera Cooper Rubin (1928-2016) avrebbe voluto studiare astronomia alla prestigiosa Princeton University, ma negli anni '50 le donne non erano ammesse e non lo furono fino al 1975! Non si è lasciata abbattere dai pregiudizi ed è riuscita a laurearsi nel 1951. Ha iniziato a studiare il moto delle galassie. Con le sue prime ricerche ha dimostrato che, oltre al moto di allontanamento, la maggior parte delle galassie mostra anche un altro moto da cui ipotizzò che le galassie non fossero distribuite in modo uniforme nell'universo ma che esistessero dei raggruppamenti, un'idea controversa e non perseguita da altri astronomi per 20 anni e in seguito confermata. Un altro suo lavoro, a lungo ignorato, riguarda l'aver osservato che, pur allontanandosi sempre più dal centro della galassia, le stelle non rallentano, ma si muovono con la stessa velocità di quelle situate al centro della galassia: risultato del tutto differente dalle ipotesi allora accettate dalla comunità scientifica. Vera Rubin si è adoperata durante tutta la sua vita per superare la discriminazione delle donne nel campo delle scienze, con uno straordinario impegno scientifico ed etico ed ha avuto una ca-

pacità unica di “vedere” nuove strade teoriche e sperimentali, superando pregiudizi e conoscenze precedenti che sembravano incrollabili e certe.

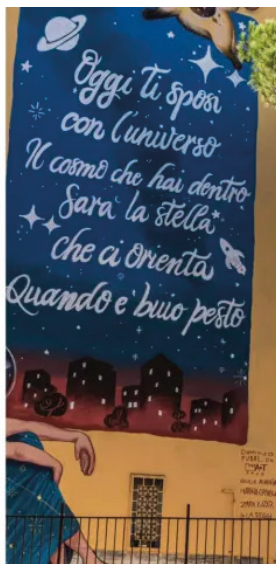
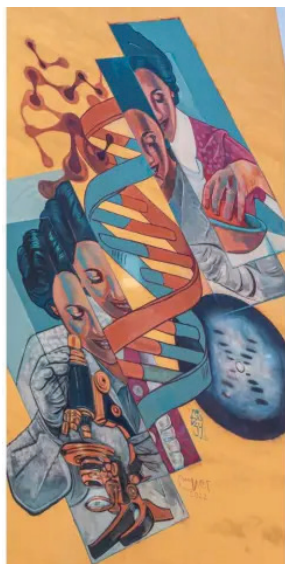
L'eredità di Margherita Hack

In conclusione, alcuni pensieri di Margherita Hack, legati al suo impegno civile e sociale, all'attenzione al pianeta e alle relazioni umane. La Hack riteneva che l'etica non derivasse dalla religione, ma da principi di coscienza, che permettono a chiunque di avere una visione laica della vita, ovvero rispettosa del prossimo, della sua individualità e della sua libertà. Nel 2005 a Parma l'Associazione donne ambientaliste le ha assegnato la Mimosa d'oro “per aver ampliato il concetto d'ambiente dalla terra al cielo con un incrollabile amore per la conoscenza e la libertà”¹⁰. E ancora “La divulgazione è un dovere sociale per chi fa scienza: la scienza può migliorare la

vita delle persone. L'astronomia sa emozionare anche i non esperti, sa mettere insieme estetica sentimento e razionalità”¹¹.

Nella prefazione al mio libro *Strumenti per i giardini del cielo*, ha scritto: “Le stelle attirano l'attenzione dei bambini e di chi bambino non è più, ma non ha completamente dimenticato l'esistenza del cielo stellato [...] Questi bambini e questi ragazzi, che diventeranno cittadini coscienti e forse amministratori dei loro quartieri e delle loro città, pretenderanno un'illuminazione più razionale e meno invadente, che lasci ammirare quel cielo che è di tutti, e la sorprendente bellezza della Via Lattea”¹².

“Il senso di libertà e, nel medesimo tempo, di orgoglio che dà il poter gestire da sola un telescopio. Il muoversi lungo i confini della conoscenza. Il tentativo di scoprire, addirittura di vedere, cose mai viste prima”¹³. ●



Un segno dell'attenzione per le donne scienziate si ha nei tre recenti murali realizzati da artiste donne che omaggiano donne di scienza a Roma, in largo Veratti, vicino a viale Marconi in quello che è stato sempre considerato il “quartiere dei grandi uomini della scienza” che ridisegnano, nell'ambito di MART (Millennials Art Work), la toponomastica della capitale.

La street artist Rame 13 rende omaggio a quattro scienziate: Laura Bassi

(1711-1778), insegnante e ricercatrice di fisica; Rosalind Franklin, madre della scoperta della struttura del DNA; Cecilia Payne, che scoprì la struttura della galassia, e Ipazia, filosofa, scienziate e matematica del III-IV sec. d.C. Giusy Guerriero propone uno sguardo della vita di Rosalind Franklin: ci sono vetrini di laboratorio, la *Foto 51* scattata dalla scienziate e la raffigurazione della struttura a spirale del DNA. La terza opera nasce dalla collaborazione di tre artiste: una poetessa, Giulia Anania, e due street artist, Zara Kiafar e Martina De Maina. L'opera è dedicata alle speranze di una giovane donna che raggiunge lo spazio, che può essere Samantha Cristoforetti come chiunque altra, perché tutte e tutti siamo invitati a volgere lo sguardo in alto verso il cielo stellato.

10. Greco P, *Margherita Hack*, Roma, L'asino d'oro, 2013, 185.

11. Ivi, 186.

12. Lanciano N, *Strumenti per i giardini del cielo*, I Ved, Trieste, Asterios, 2019.

13. Greco P, op. cit., 84.

La finitezza delle risorse terrestri. Un focus sul bilancio idrico nazionale

Yuri Galletti

Since 1970 we have exceeded the carrying capacity of planet Earth: to be able to support global human activities we would currently need 1.71 planets which unfortunately we do not have. Our actions can impact on the water cycle, that is affected by global warming. The area of the Mediterranean Sea basin is classified as a climate hotspot, so it is more exposed to the effects of the climate crisis. In Italy, the average annual temperature is growing faster than the global average, with effects on national water balance. 2022 was the least rainy year since 1961, marking -22% compared to the 1991-2020 climatological average, with lower than normal rainfall (-39%) from January to July. The anomalies were most marked in the North (-33%), followed by the Center (-15%) and the South and Islands (-13%). Furthermore, the national water infrastructure is old and loses 42 liters along the way for every 100 liters distributed; moreover, the per capita water consumption of an Italian citizen is the highest in Europe, with almost 220 liters per day, compared to a European average of 165 liters.

Keywords: *Climate change, Water Cycle, Mediterranean Sea, Water Balance*

Premessa

Le risorse terrestri, per quanto grandi, non sono infinite: il Pianeta ha delle capacità di sostentamento limitate, che sono state ampiamente superate dall'impatto di una popolazione umana in continua crescita numerica, con un consumo pro-capite di risorse in costante aumento. Per poter supportare le nostre attività ci servirebbero ad oggi 1,71 Pianeti¹ che purtroppo non abbiamo, a partire dal 1970 abbiamo superato la "capacità portante" della Terra. Le condizioni che negli ultimi 10.000 anni, nel periodo chiamato Olocene, hanno consentito lo sviluppo della civiltà umana nella forma che oggi conosciamo, da circa 5 decenni non sono più le stesse: il drammatico calo dei livelli di biodiversità provocato dalle nostre attività ci ha portato sulla soglia della sesta estinzione di massa² della storia terrestre (le prime cinque sono avvenute in epoche precedenti alla comparsa dell'uomo) e nello stesso tempo abbiamo generato un cambiamento climatico profondo, che si rivelerà man mano ai nostri occhi e perdurerà per migliaia di anni a



1. <https://www.overshootday.org/about-earth-overshoot-day/>

2. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/ispra-e-la-biodiversita/articoli/le-popolazioni-di-vertebrati-nella-sesta-estinzione-di-massa>

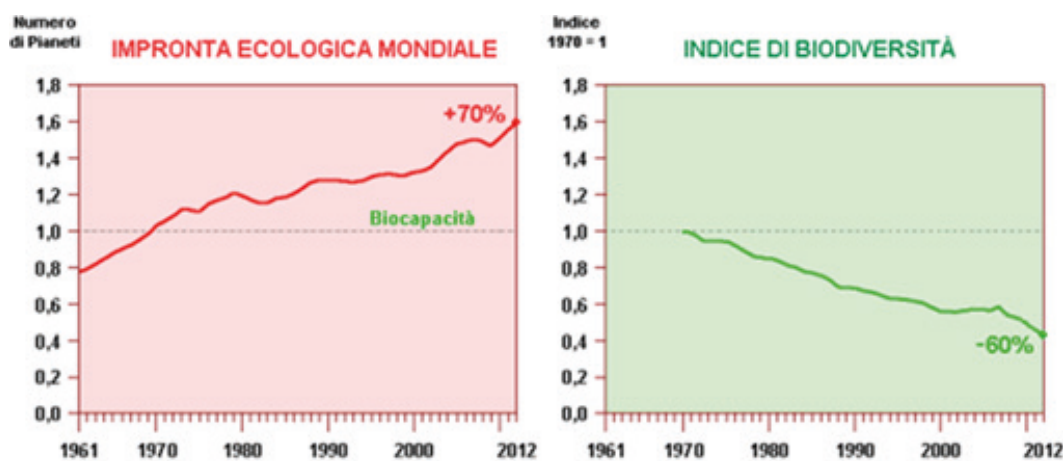
venire. Le possibilità per la nostra specie di avere un futuro fondato sulla prosperità e sul benessere dipendono dalla nostra capacità di saper rapidamente trasformare l'attuale modello socioeconomico e le nostre abitudini individuali in qualcosa di radicalmente diverso rispetto alla cultura che oggi è vigente.

La demografia

Nell'arco di due generazioni, le attività umane hanno superato la capacità del Pianeta di poterle sostenere in modo duraturo. Questo "overshoot ecologico" deriva da molti fattori, il primo dei quali è il raddoppio della popolazione terrestre che è avvenuto in quattro decenni. Nel 2020, il tasso di crescita della popolazione mondiale è sceso sotto l'1% annuo per la prima volta dal 1950. Le ultime proiezioni delle Nazioni Unite suggeriscono che la popolazione mondiale potrebbe crescere fino a circa 8,5 miliardi nel 2030 e 9,7 miliardi nel 2050; si prevede che raggiungerà un picco di circa 10,4 miliardi di persone durante gli anni 2080 e rimarrà a tale livello fino al 2100³.

Le risorse rinnovabili e l'impatto sull'acqua

La specie umana, come tutte le altre specie viventi che esistono sul pianeta, ha la possibilità di sopravvivere grazie ad una serie di servizi (produzione di ossigeno, riciclo di acqua, fertilità del suolo, stabilizzazione del clima, ecc.) che vengono forniti dagli ecosistemi terrestri. La capacità di fornire questi servizi è strettamente legata alla biodiversità: quanto maggiori sono le forme viventi che abitano un ecosistema, tanto più questo risulta stabile e produttivo. A partire dall'inizio degli anni '70 la somma delle azioni umane, cioè prelievi di risorse e rilascio di rifiuti nell'ambiente, ha cominciato ad eccedere la biocapacità terrestre (ovvero la capacità di rigenerare le risorse e quella di smaltire i rifiuti). Ad oggi, con le nostre attività superiamo la biocapacità del +70%: questa eccessiva pressione sugli ecosistemi ha cominciato a provocare una grave perdita di biodiversità (-60%, riferita ai vertebrati, fig. 1), che continua a declinare mediamente del 2% all'anno: i tassi di estinzione sono fino a 1000 volte superiori al valore fisiologico di ricambio⁴.



Fonte: "Living Planet Report 2016" - WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, Stockholm Resilience Centre, Stockholm Environment Institute

Figura 1. Impronta ecologica vs Indice di biodiversità

3. <https://population.un.org/wpp/>

4. <https://www.worldwildlife.org/pages/living-planet-report-2016>

Questa condizione ci ha portati sulla soglia della sesta estinzione di massa della storia terrestre, generata interamente dalle azioni umane. Noi ci preoccupiamo prioritariamente della salute della nostra economia, ma la crescita dei consumi va a scapito del capitale naturale che decresce. Ecco cosa diceva Pearce nel 1988 nel testo *Economics, equity and sustainable development*: “Per realizzare una condizione di sostenibilità occorre che il prelievo di risorse dall’ambiente non ecceda le sue capacità di rigenerazione, e che il rilascio di rifiuti nell’ambiente non ecceda le sue capacità di poterli smaltire”.

L’impatto delle nostre azioni ha conseguenze tangibili sulla risorsa acqua e il suo ciclo. Il ciclo idrologico subisce gli effetti del riscaldamento globale, che può influenzare e modificare i processi di precipitazione ed evaporazione⁵. Inoltre un aspetto riconosciuto legato al riscaldamento globale è l’aumento di eventi precipitativi estremi, con conseguente aumento del rischio di inondazioni. Chiaramente può cambiare anche la disponibilità della risorsa acqua, bene prezioso e condizione essenziale per la vita di ogni essere vivente. La carenza d’acqua, la siccità, la perdita di ghiacciai, e le crisi alimentare ed energetica sono solo alcune delle conseguenze della crisi idrica provocata dagli impatti del cambiamento climatico.

Il cambiamento climatico e il bilancio idrico nazionale

La crisi climatica è una verità ineludibile, ma il riscaldamento globale in corso non impatta allo stesso modo tutte le regioni del mondo. L’area del bacino del Mar Mediterraneo viene classificata come un *hotspot* climatico, in quanto più esposta agli effetti della crisi climatica, e in Italia la crescita delle temperature viaggia al doppio della velocità rispetto alla media del pianeta. Oggi la temperatura media del nostro Paese è aumentata

di quasi 3°C rispetto al periodo pre-industriale, a fronte del +1,1°C della media mondiale, e nel 2022 abbiamo superato la soglia dei 14°C (temperatura media annua, fig. 2).

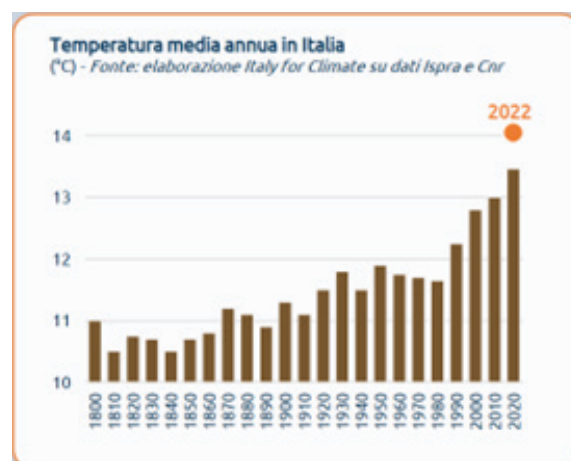


Figura 2. Temperatura media annua in Italia

Come già descritto nel paragrafo precedente, gli impatti sono evidenti anche sul ciclo idrologico e conseguentemente sul bilancio idrico nazionale. Secondo Ispra, negli ultimi decenni abbiamo assistito a una progressiva riduzione della disponibilità media annua di risorsa rinnovabile: si è passati dalla media di 166 miliardi di m³/anno del trentennio 1921-1950 ai 134 del 1991-2020, con una riduzione di circa il 20%⁶ (fig. 3).

Sempre secondo Ispra, questo trend sarebbe destinato a consolidarsi e a peggiorare negli anni a causa del cambiamento climatico. Anche immaginando di contenere il riscaldamento globale a non più di 2°C entro la fine del secolo, la disponibilità a livello nazionale si ridurrebbe ancora di un altro 10%. Ma se invece non riuscissimo a cambiare passo sulle politiche di decarbonizzazione e arrivassimo a +3-4 °C, a fine secolo potremmo avere un ulteriore 40% in meno della risorsa.

Con un focus specifico sull’anno precedente, il 2022 è stato l’anno meno piovoso dal 1961, se-

5. Adler RF, Gu G, Spaiano M, Wang JJ, Huffman GJ, *Global precipitation: Means, variations and trends during the satellite era (1979-2014)*.

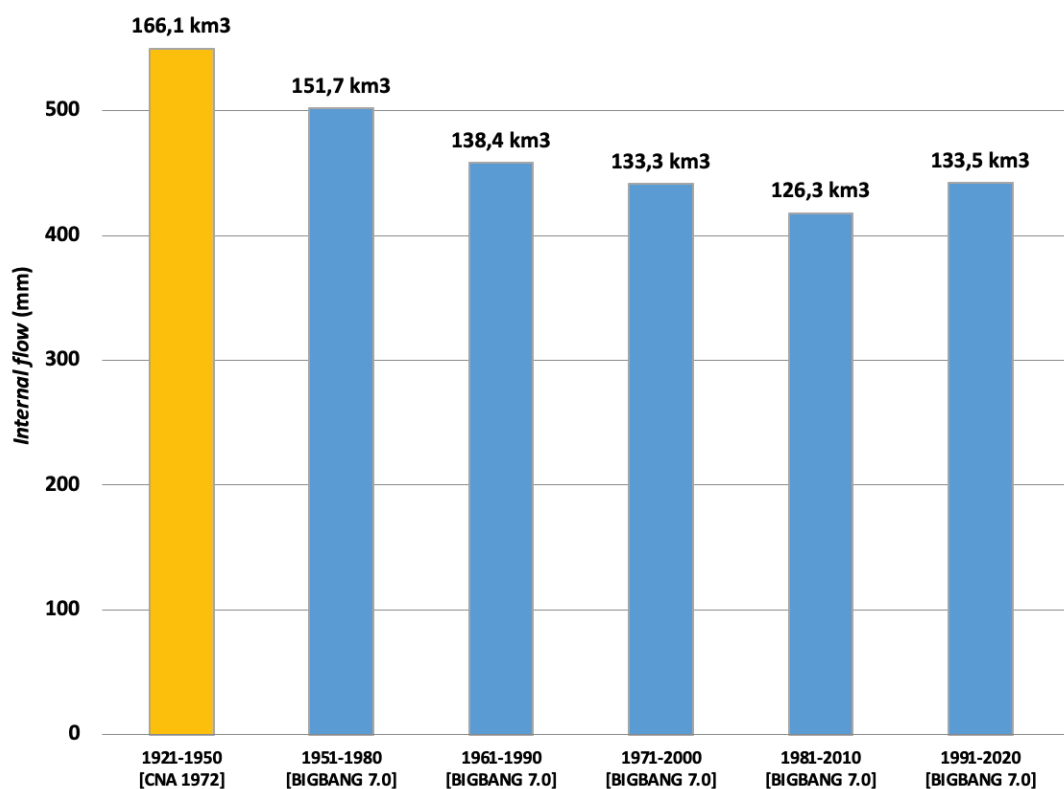


Figura 3. Stima della disponibilità nazionale di risorsa idrica rinnovabile, medie trentennali (Fonte: ISPRA).

gnando un -22% rispetto alla media climatologica 1991-2020, con precipitazioni inferiori alla norma (-39%) da gennaio a luglio. Le anomalie sono state più marcate al Nord (-33%), seguite dal Centro (-15%) e dal Sud e Isole (-13%). Questo deficit di pioggia ha portato ad una riduzione della disponibilità della risorsa idrica rinnovabile con un valore della disponibilità idrica di 221.7 mm (volume pari a 67 Km³) a livello nazionale, a fronte di un valore medio annuo di 456.9 mm (volume pari di 138 Km³) nel periodo 1951-2022⁶ (fig. 4).

Tuttavia non sono mancati eventi estremi di precipitazione, in alcuni casi eccezionali. Particolarmente rilevante è stato il tragico evento che il 15 settembre 2022 ha investito le Marche, dove un sistema temporalesco autorigenerante e staziona-

rio ha causato fenomeni intensi e localizzati, con precipitazioni giornaliere che hanno superato localmente i 400 mm⁷.

Ad aggravare il bilancio idrico nazionale e rendere alti i livelli di stress idrico, va inoltre considerato che l'Italia preleva quasi 40 miliardi di m³ all'anno (record europeo) da fiumi o falde acquifere per l'utilizzo antropico. Di questi 40 miliardi ben 9 (+70% rispetto al 2000) sono prelevati a usi civili, doppiando i valori di Germania, Francia e Spagna. Il prelievo è alto da un lato perché l'infrastruttura idrica è vecchia e perde per strada 42 litri ogni 100 prelevati, dall'altro perché il consumo pro capite di un cittadino italiano è il più alto d'Europa, con quasi 220 litri al giorno⁸, contro una media europea di 165 litri. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità la quan-

6. <https://www.isprambiente.gov.it/it/news/bilancio-idrologico-nazionale-focus-su-siccita-e-disponibilita-naturale-della-risorsa-idrica-rinnovabi->

le-aggiornamento-al-2022

7. <https://www.snpambiente.it/2023/07/20/caldo-record-e-siccita-nel-2022/>

8. https://www.isprambiente.gov.it/files2023/publicazioni/rapporti/rapporto_388_2023_siccita_2022.pdf

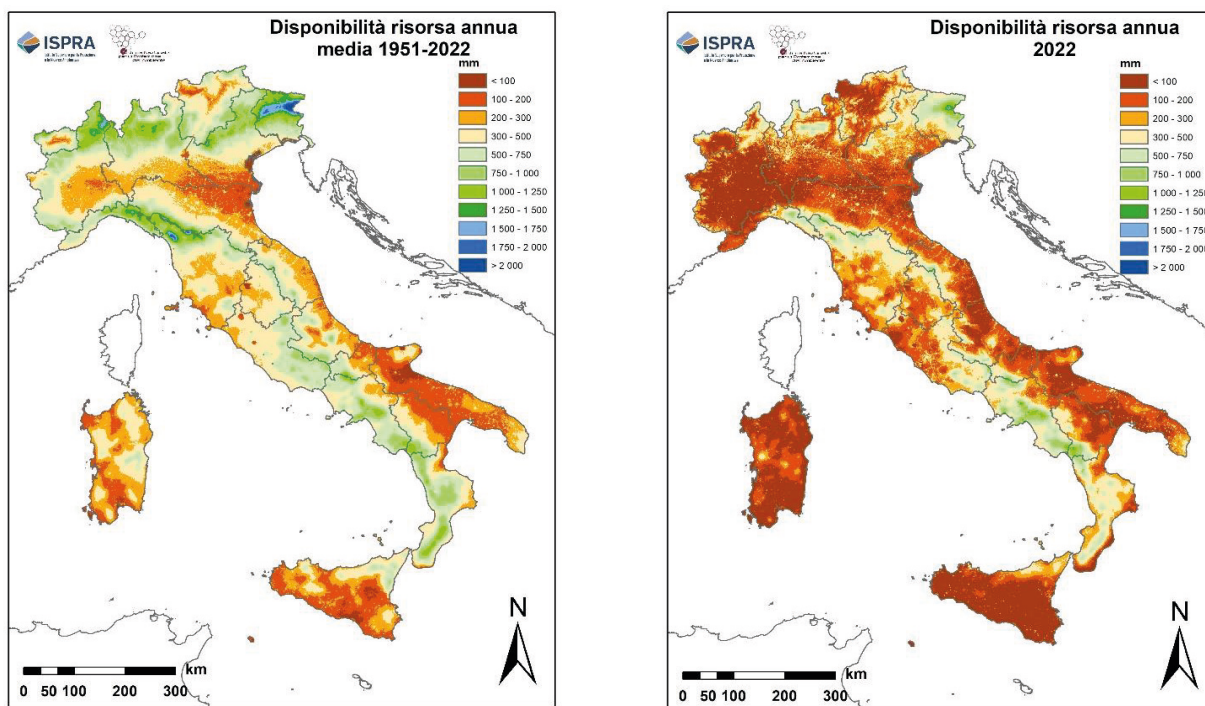


Figura 4. Mappa della disponibilità della risorsa idrica rinnovabile annua (Fonte: ISPRA). A destra è riportata la mappa riferita all'anno 2022, mentre a sinistra è riportata quella riferita alla media 1951-2022.

tità minima di acqua al giorno per soddisfare i bisogni vitali è di 40 litri.

Conclusioni

Come succede con un treno, che risponde a dei meccanismi predefiniti e parte rigorosamente in orario, non fa nessuna differenza che si arrivi al binario con venti secondi oppure mezz'ora di ritardo. In entrambi i casi il treno verrà ugualmente perso. Per riuscire a salirci occorre arrivare in orario. Ma come è possibile che l'umanità riesca a presentarsi al binario al momento giusto, se organizzativamente ed anche concettualmente parlando siamo ancora lontanissimi dal considerarci (e di conseguenza comportarci) come un'entità unica? Possiamo dire di sentirci davvero una sola grande famiglia globale, oppure continuiamo a ragionare con la "logica del villaggio" del cacciatore/raccoglitore di diecimila anni fa? Purtroppo, siamo ancora un insieme di

nazioni sparpagliate, che fanno ciascuna il proprio percorso. I nazionalismi guadagnano terreno proprio perché a livello globale non abbiamo adottato e non stiamo adottando le strategie giuste; di conseguenza generiamo dei problemi, che a loro volta alimentano delle visioni di società sempre più locali e individuali. Anziché muoverci verso l'unificazione e la cooperazione, ci stiamo muovendo verso il frazionamento e la competizione. Il lavoro culturale da fare è davvero molto grande.

Occorre costruire un modello di *governance* mondiale che definisca a livello globale la strategia di comportamento della nostra specie rispetto ad un nuovo interlocutore non umano con il quale dobbiamo necessariamente imparare a confrontarci. Questo interlocutore è il limite fisico del Sistema Naturale che ci sostiene. Ripartiamo dalle relazioni, ripartiamo dalle risorse essenziali, ripartiamo dall'acqua, culla dell'essere. ●

Silvia Bencivelli
Eroica, folle e visionaria.
Storie di medicina spericolata
Bollati Boringhieri, 2023



“Certe prime volte cambiano la storia”: in questo libro si parla di “prime volte” nel campo della medicina, cioè di sperimentazioni che, se hanno funzionato, hanno contribuito a migliorare la nostra salute e la nostra aspettativa di vita. Osserva l’autrice che “nella prima volta di un oggetto medico di necessità sono stati coinvolti almeno in due, e l’altro è stato un essere umano”. Il vero protagonista in genere è il farmaco, la procedura, la tecnica, “mentre l’essere umano resterà al più un deuteragonista [...] e il suo nome verrà quasi sempre dimenticato”. Chi è stato il primo a ingoiare un’aspirina? il primo a sottoporsi a un’endoscopia nasale? Non lo sappiamo, le cavie umane restano nell’anonimato. Con qualche eccezione: i medici che la sperimentazione l’hanno fatta su di sé. Esistono infatti in questo campo preziose fonti, come il testo *Self experimenters. Sources for study* di Arsen P. Fiks, uscito postumo nel 2003 (un lungo elenco sintetico di centinaia di casi); o il saggio *Who goes first?* di Lawrence K. Altman. Questi censimenti, tuttavia, risultano comunque incompleti per-

ché vengono raccontati quasi esclusivamente gli esperimenti che hanno avuto successo.

Questo libro raccoglie, ricostruisce e racconta le storie di medici autosperimentatori, che appartengono quasi tutte al passato e che sono quasi sempre sorrette dall’idea per cui il bravo medico non deve fare agli altri quello che non sarebbe disposto a fare a se stesso. Ma a leggere le molte – moltissime, si parte dal Seicento per arrivare ai nostri giorni – storie qui raccontate si scopre che c’è anche chi l’ha fatto solo per comodità, o perché non veniva creduto da nessuno, o perché era semplicemente incapace di fidarsi di qualcun altro. Molti, poi, lo hanno fatto per pura curiosità, e alcuni persino per rabbia o per ripicca. Talvolta il gesto non ha portato a risultati apprezzabili e si è perso nel nulla, altre volte è stato fatale; in qualche caso ha spianato la strada a un premio Nobel e ha segnato un avanzamento fondamentale delle nostre conoscenze.

Come sempre Silvia Bencivelli scrive con penna ironica e leggera, toccando gli argomenti chiave del rapporto tra medicina, società e potere, coinvolgendo il lettore in alcune delle più incredibili storie della medicina. Incontriamo medici che si fecero pungere intenzionalmente da zecche e zanzare per dimostrare l’origine di una malattia, spericolati inventori di rivoluzionarie tecniche chirurgiche, avventati sperimentatori di sostanze ignote e persino chirurghi che si auto-operano, per farsi pubblicità o perché privi di alternative. Sono vicende che non lasciano certo indifferenti, e nel loro complesso tracciano una storia della medicina decisamente diversa da quella che viene generalmente raccontata.

Maria Turchetto

Ospiti in classe. Attività laboratoriali con i viventi alla Primaria

Maria Castelli

Taking care of, observing and talking about life that takes place in a space and time dedicated at primary school brings educational potential of science into action and allows pupils to build an idea of a living being also in relation to one's living environment, instead of superficially a definition.

Keywords: *Primary school, Make experiences, Biology, Education*

La lettura dell'interessante articolo di Anna Aiolfi *Bambini e animali*, che così bene esemplifica per la scuola dell'infanzia il senso e i modi del laboratorio di scienze delineati da Maria Arcà nel numero precedente della rivista¹, mi ha suscitato il desiderio di proseguire il discorso con la scuola primaria. Sì, il senso e i modi fanno la differenza, non tanto i temi scelti, che più o meno entrano già nelle programmazioni, come Arcà osserva pensando alla Biologia:

“I bambini devono poter pensare e parlare a proposito di quello che vedono. Le esperienze aiutano i bambini a farsi un'idea di quello che vedono e, reciprocamente, le loro idee (espresse attraverso le discussioni) suggeriscono nuove osservazioni. Tutto ciò in un lungo processo ciclico durante il quale si può ‘tornare a guardare’ cose già viste e ‘tornare a parlare’ di cose di cui si è già discusso”².

Come alla scuola dell'infanzia, le proposte alla classe prendono il via sia dall'occasionalità che dalla progettazione annuale. Svolgere attività suggerite dall'iniziativa dei bambini, innanzitutto con l'obiettivo di lasciar entrare in classe ciò che accende la curiosità e fa sorgere domande nel quotidiano, fa maturare negli alunni l'idea che ci sta a cuore il loro desiderio di conoscere e che accogliamo volentieri quanto ci propongono



1. Arcà M, *L'esperienza è solo il primo passo*, Naturalmente scienza, 2: 59-64, 2022; Aiolfi A, *Bambini e animali*, Naturalmente scienza, 2: 65-71, 2022.

2. Arcà M, Mazzoli P, Sucapane N, *Osservare i viventi*, 61-62, Pisa, ed. ETS, 2021.

di condividere. Negli anni, sono arrivati a scuola reperti già noti, o che potevano attendere di essere inseriti in un contesto più ampio e altri che valevano da soli una e anche più lezioni con momenti preziosi per tutti.

Invece, per quanto riguarda gli assi portanti del lavoro di scienze, fin dall'inizio di un quinquennio, è importante prevedere esperienze diversificate con le quali impostare itinerari flessibili e coinvolgenti, per introdurre i bambini alla complessità delle scienze naturali. In quest'ambito, ho cercato di non lasciarmi sfuggire l'opportunità di *"far nascere" animali e vegetali*, di *allevare piccoli animali* e di *coltivare qualcosa*. L'esperienza diretta della vita che si svolge sollecita nei bambini continui riferimenti al *proprio corpo* in un andirivieni di somiglianze, differenze, distinzioni e generalizzazioni, che creano intrecci di pensieri ai quali ancorare il lavoro che seguirà. I dintorni della scuola – il suo giardino, un prato, un parco, un albero, una siepe, una fontana, una pozza, un corso d'acqua... – sono il luogo in cui cercare *porzioni di ambiente* a portata di mano per osservazioni ripetute, mirate a ragionare su com'è fatto e come funziona, attraverso l'intuizione delle relazioni fra i viventi e dei viventi con gli altri componenti dell'ambiente. I fenomeni atmosferici e quelli celesti rientrano in questo contesto. Poi c'è lo sconfinato repertorio di occasioni fortemente motivanti di avvicinamento alla fisica e alla chimica, con i *"pasticciamenti" con oggetti, materiali, interazioni e trasformazioni*. Ma qui mi limito ai viventi, senza soffermarmi sui particolari degli specifici percorsi di lavoro, per i quali rimando al sito³.

Far nascere animali e vegetali

Attesa, curiosità, preoccupazione, sorpresa, commozione, gioia, attenzione, cura e accudimento sono le emozioni e gli atteggiamenti che la nascita di un vivente sollecita nei bambini delle prime classi della primaria. È un'esperienza che fa

sorgere molte domande: su quanto sta accadendo e non possiamo vedere ma solo immaginare mentre si aspetta; sull'evento della nascita che si può avere la fortuna di osservare; sul proprio essere stati neonati; sulla mancata schiusa di uova o germinazione di semi; sul bisogno di sostentamento per incominciare a crescere; su ciò che prima è nutrimento e poi è parte del nuovo nato; sulle cure parentali che i bambini sperimentano aspettandosi altrettanto per i piccoli degli animali; sulle trasformazioni evidenti fin da subito. L'insegnante impara presto a vedere la portata di queste domande come possibili fili conduttori di lunghi e ricorrenti ragionamenti sui viventi – animali e vegetali – che torneranno utili quando si avrà modo di seguirne la crescita.



Una prima classe sta seguendo da alcuni giorni l'incubazione delle uova di gallina.

Sofia chiede se nelle uova ci sono i pulcini...

Ilaria – Forse qualche uovo non avrà il pulcino dentro...

Giulia – Saranno piccolini.

Alessandra – Nell'uovo sono piccoli e fuori sono più grandi.

Giulia – L'uovo è pieno, il pulcino non ci sta!

Claudio – Da una parte c'è il bianco e il giallo, dall'altra il pulcino!

3. <https://www.naturalmente-scienza.it/sections/?s=112>

Che cosa ci stanno a fare il tuorlo e l'albume dentro le uova che adesso abbiamo nell'incubatrice?

Sofia – Magari non servono al pulcino...

Stefano – I pulcini mangiano il tuorlo e l'albume adesso...

Chiara – Ma adesso non possono ancora mangiare, quando saranno usciti dall'uovo sì!

Alice – I pulcini dentro l'uovo mangiano e, dopo, il tuorlo e l'albume finiscono.

Riccardo – Non possono mangiare il tuorlo perché serve per trasformarsi in pulcino.

La stessa classe, che ha allevato per un mese i pulcini, ha un piccolo orto in vasi in un angolo dell'aula.

Alessandra – Dentro i semi ci sono i fiori già nati, poi il seme si apre, diventa pianta, i fiori piccolissimi dopo crescono.

Mi pare che Alessandra faccia assomigliare i semi alle uova...

Giulia – Sì, sono d'accordo con Alessandra (altri 17 condividono l'idea).

Stefano – Sarebbe un po' impossibile, perché se apro il seme devo vedere! (altri 5)

Simone – Il fiore così non ci può stare nel seme...

Alessandra – Ma io dico il fiore strapi piccolo!

Luca – Non è vero perché il seme è piccolissimo e dopo il seme sparisce.

Alessandra – No, il seme rimane sotto terra! (altri 14)

Claudio – Il seme non sta sotto terra quando la pianta nasce, sennò vedresti ancora i pezzettini, io ho visto che non ci sono più.

Ilaria – Quando crescono i semi, sotto si vedono le radici, non lo sapevo!

Stefano, Luca, Simone e molti altri – Non sapevo che ai semi crescessero così tante radici solo in un giorno o due, credevo dieci giorni!

Qualche giorno dopo, riprendiamo il filo del discorso, rileggendo la discussione precedente e apriamo i semi che avevo preparato nello scottex umido: li lascio osservare ad occhio nudo, poi tutti insieme allo stereomicroscopio; si tratta di fagiolo, mais e farro. Ritroviamo le

radichette (nel mais è evidente anche la cuffia), le foglioline, il fusticino, il tegumento e una parte chiara di cui alcuni mi chiedono conto... spiego che è quella parte che anche noi mangiamo, ne ricaviamo farina per la pasta, il pane, la polenta ad esempio, anche nel fagiolo è la parte che noi utilizziamo. Ritornati in classe si disegna anche con l'aiuto di fotografie di ciò che è stato osservato.

Che cosa abbiamo trovato nei semi?

Luca – Abbiamo trovato la radice... le radici.

Ilaria – E qualcosa di giallino...

Chiara – Anche una foglia verdina.

Anna – Quella cosa gialla nel seme noi la mangiamo!

Elisa – Non è tanto giallo, è anche bianchino...

Alice – Pian piano la piumetta vien su e raggiunge la superficie.



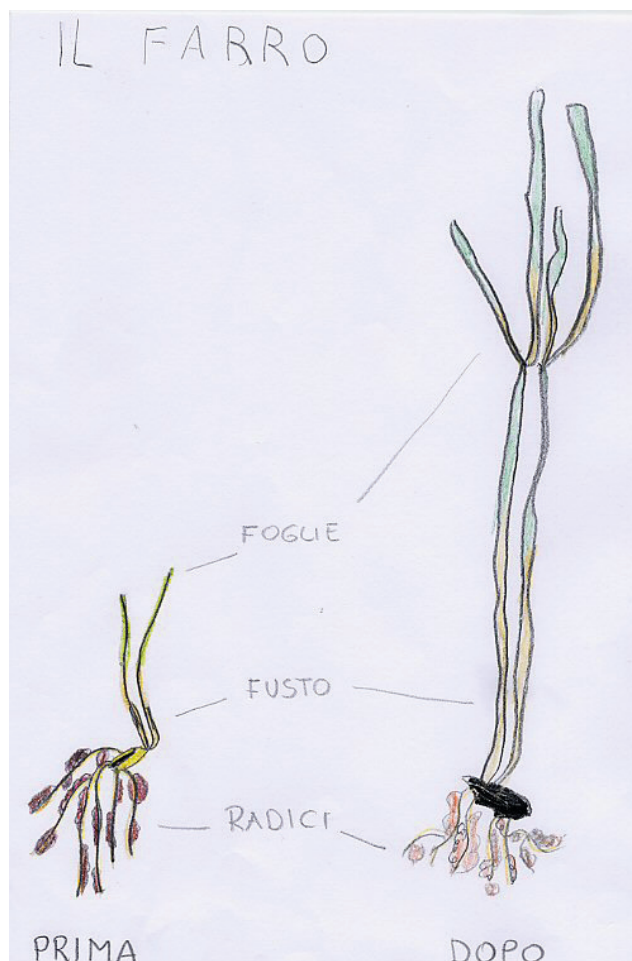
Ilaria – Dentro nel seme abbiamo trovato anche un pezzo di fusticino.

Stefano – A casa nei discorsi da solo ci penso e faccio delle soluzioni... risolvo un problema mettendo insieme le idee mie e quelle degli altri...

Confermo di sapere che i bambini ripensano e capiscono, per questo a scuola discutiamo e ascoltiamo bene e io scrivo quello che dicono. Bellissimo l'intervento metacognitivo di Stefano ed è bene che lo condivida con tutti.

Stefano – C'è stata una trasformazione dal seme alla pianta... la pianta prima era nel seme.

Giorgia – Pian piano è cresciuta.



Allevare e coltivare

Chioccioline, lombrichi, larve di farfalla, di mosca, insetti stecco, mantidi, girini, pesci, crostacei, criceti, alghe, piante da seguire in giardino, piccoli orti in vaso o in un piccolo spazio all'aperto sono risorse tutte ugualmente valide. Ogni insegnante

può cogliere le opportunità che si presentano e scegliere ciò che si sente in grado di fare. Invece, sono davvero importanti i contesti da creare per far scaturire intuizioni, riflessioni e ragionamenti da cogliere, evidenziare e portare all'attenzione di tutti, così da strutturare il percorso di apprendimento sui temi che i bambini in quel momento sono in grado di apprendere.

Quali sono le condizioni più adatte? Di che cosa ha bisogno? Che cosa mangia e quanto? Da che cosa capisco se sta bene? Vuole l'umido o l'asciutto, la luce o il buio e come li percepisce? Che cosa lo infastidisce? Come fa a sentire la nostra presenza? E che cosa percepisce dell'ambiente in cui sta? Come fa a muoversi in quel modo strano? Come mai se n'è andato e da dove è uscito? Ma anche noi diventiamo alti e poi ci fermiamo... Farà i fiori? Sono queste alcune fra le numerose domande che i bambini pongono mentre si condivide in classe l'esperienza della crescita di un animale o delle piante e man mano si va delineando un'idea di vivente che include anche ciò che di se stessi sentono e intuiscono. Un'idea molto generale di vivente come individuo nelle sue continue trasformazioni, come organismo dotato di una struttura anatomica e fisiologica che mette in atto un intreccio di processi, stando in relazione con l'ambiente con il quale scambia materia ed energia secondo le stesse leggi fisiche e chimiche dei non viventi.

Una classe terza ha costruito e segue da un paio di mesi due lombricai.

Alessandra – Dentro, com'è fatto dentro non lo sappiamo ancora!

Propongo di scendere in palestra per provare a muoversi come i lombrichi. Prima ricordiamo com'è il loro movimento.

Matteo – È un animale-elastico... è come un elastico.

Giulia M. – Dentro non ha le ossa, è un invertebrato.

Molti – si allunga e si assottiglia, si accorcia e si allarga...

In palestra parecchi bambini provano uno alla volta, poi tutti insieme con grande divertimento

e molta curiosità. I primi a provare si appoggiano sui gomiti... Niente gomiti! Qualcuno striscia senza accorciarsi e allungarsi ... ma il lombrico non fa così! Arriva Nicolò che è il primo a muoversi in modo somigliante al lombrico. Provano anche Gabriele, Alice e altri. Per avanzare fissano le punte dei piedi al pavimento e si accorciano sollevando il sedere e poi si estendono. Ci fermiamo e ascoltiamo... Faccio notare che loro non sono lombrichi, il nostro corpo è fatto in modo diverso. Di che cosa hanno sentito il bisogno per muoversi così? Come bisogna essere fatti dentro?

Ilaria – Occorrono i muscoli!

Giorgia – Bisogna attaccarsi al pavimento!

Con che cosa? Come si attacca al pavimento il lombrico?

Giorgia – Ecco a cosa servono le setole! Ad attaccarsi al terreno!

Elisa – Deve essere molle, non avere le ossa.

C'è un movimento del lombrico che voi non avete potuto fare! Ci pensano un po', poi Claudio alza la mano...

Claudio – Stringersi e allargarsi è impossibile per noi, ma per loro sì.

A metà gennaio, abbiamo i lombricai da tre mesi. Arrivo in classe alle 11, Giulia e Sofia mi corrono incontro per dirmi che un altro lombrico è fuggito ed è secco, morto sul tavolo. Bisogna fare qualcosa... Forse vuol dire che lì non stanno tanto bene. Infatti le foglie in superficie non diminuiscono e non troviamo turricole. Forse non mangiano, come aveva detto Luca.

Suggerisco di recuperare l'idea di Giulia:

Giulia – Bisogna provare ...

Giulia non riesce a dire con chiarezza ma si fa ben capire... mettiamoli alla prova per un po' come abbiamo fatto con le alghe... Mettere alla prova i lombrichi è una bellissima idea, ma bisogna progettare bene che cosa vogliamo capire e che cosa possiamo fare. La cosa risulta immediata e semplice: cambieremo il cibo dei lombrichi, togliendo le foglie che pare non gradiscano e mettendo che cosa? Giulia ha trovato centinaia di lombrichi nella compostiera del nonno. Che cosa mangiano nella compostiera?

Un coro – L'organico!

Chiedo spiegazioni. Mi dicono che l'organico sono rifiuti, sono i rifiuti della cucina e sono formati da bucce, avanzi di cibo cucinato... Ma i lombrichi hanno la bocca piccola, come possono mangiarli? Chiede qualcuno. Propongo di portare degli avanzi di cucina ben macinati. Chiedo se ne devo portare per tutti e due i terrari.

– No! Altrimenti non possiamo fare il confronto per vedere se va meglio.

Il giorno dopo diamo il nuovo cibo ai lombrichi di un solo terrario e stiamo a vedere. Se in classe sentiremo cattivo odore, metteremo il lombricaio in corridoio.

Prima di proporre in classe un'esperienza, è utile che l'insegnante provi da solo, per constatare sia le difficoltà che le opportunità offerte dal nuovo contesto laboratoriale. Tuttavia non tutto si può provare prima e talvolta sono proprio i risvolti inattesi e gli errori ad offrire sorprese e sviluppi interessanti. La disponibilità ad imparare anche con i bambini e dai bambini, insieme all'abitudine a riflettere su ciò che accade durante la lezione, a documentarsi, a chiedere aiuto, a condividere con i colleghi sono gli atteggiamenti più utili a crescere professionalmente.

Ancora l'orto in classe prima:

Ilaria – Il farro in così pochi giorni ha le piantine già alte... come un temperino.

Claudio – Io pensavo che i semi non si aprivano così velocemente...

Ilaria e Giulia – Io non sapevo che i semi crescevano anche al buio.

Ilaria e Alice – Nel cotone non pensavo che crescessero, non è il loro posto, è la terra!

Chiara – Io credevo che quando si rompe la buccia a un seme, si rompeva anche a tutti gli altri! All'ottavo giorno, i bambini sottolineano la diversità dei tempi.

– Il farro è svelto, il mais è pigro: le piantine di farro sono già alte una spanna, nella vaschetta del mais, si vede solo qualche seme con la radichetta.

I bambini spontaneamente collegano le esperienze e si abituano a tener conto anche dei ragiona-

menti condivisi. Di ogni cosa hanno sicura memoria. Riprendendo Maria Arcà:

“Col tempo le osservazioni e le discussioni generano schemi per pensare più generali e potenti. In biologia è importante sviluppare schemi di tipo statico (morfologie, strutture, configurazioni che riguardano i sistemi viventi) e schemi di tipo dinamico (fisiologie, processi di crescita, di sviluppo, comportamenti). Nei primi si fa appello ad una conoscenza di tipo ‘fotografico’ in grado di indagare sulle forme degli oggetti biologici, sulle consistenze dei tessuti, sulle connessioni tra le parti, sulla disposizione di organi... cercando di organizzare la complessità di quello che si vede attraverso un modello di funzionamento (‘questo sta qua perché porta l’acqua verso l’alto, questo è più duro di questo perché sta all’esterno...’). Per gli schemi di tipo dinamico, si fa appello ad una conoscenza di tipo ‘cinematografico’ in grado di ricostruire la storia di un processo nella sua dimensione temporale (‘prima il seme si gonfia, poi si spacca e esce un filetto che diventa sempre più verde...’)”⁴.

Cogliere i riferimenti ricorrenti al corpo umano

La stessa classe prima che ha avuto i pulcini, un bruco che poi è diventato farfalla e l’orto in aula, appena sollecitata, incomincia ad intrecciare i fili dei diversi discorsi.

Il seme che si svuota vi ha fatto pensare a qualcosa che avete già conosciuto?

Anna, Beatrice, Elisa e altri – I pulcini, il pulcino dentro l’uovo... che mangiava il tuorlo e l’albume e cresceva... si formava.

Claudio, Luca – Il bruco! Il bruco diventa farfalla, lascia vuoto l’astuccio perché il bruco si è sciolto e si è trasformato in farfalla che ha le ali, le antenne...

Gabriele – E poi la farfalla fuori dall’astuccio cresce perché mangia!

Avete parlato di cambiamenti: tre grandi cambiamenti... il pulcino che si forma nell’uovo consumando il tuorlo e l’albume, il bruco che si trasforma in farfalla e il cibo che diventa il nostro stesso corpo...



Luca – Per crescere mangiamo il cibo.

Giorgia – Non tutto il cibo serve per crescere, facciamo anche la cacca...

“Anche noi, come facciamo noi, e noi invece...” sono espressioni ricorrenti fin dalle prime considerazioni condivise nelle discussioni durante le esperienze con i viventi. Denotano che il proprio corpo, le percezioni, le intuizioni, le conoscenze più o meno approssimative messe insieme fino al momento sono presenti a ciascuno, quando si confronta con lo svolgersi della vita di altri. Cogliere il battito del cuore o il sottile movimento della respirazione, immaginare i muscoli che rendono possibile un certo movimento, vedere il cibo in trasparenza che scende lungo il tubo digerente, guardare che cosa un animaletto mangia e di che tipo di bocca è dotato, stupirsi della prontezza di un insetto che scatta per catturare la sua preda sono occasioni per interrogare il proprio corpo sullo svolgimento di funzioni

4. Arcà M, Mazzoli P, Sucapane N, *Osservare i viventi*, cit.

simili e incominciare a ragionare per immaginare come siamo fatti dentro e come funzioniamo. Partire dall'ascolto del battito cardiaco è un modo semplice, immediato e quanto mai accessibile per interrogare le funzioni e gli organi del nostro corpo come sistema di apparati e non come somma di compartimenti stagni. È fondamentale non frammentare lo sguardo dei bambini, non spezzare fili di ragionamenti che connettono le funzioni e gli organi fra loro e noi umani agli altri viventi e all'ambiente, non imporre inutili separazioni. Il battito del cuore ad esempio porta i bambini a considerare in modo intuitivo la respirazione, la circolazione e in breve la nutrizione.

Il filo conduttore delle numerose esperienze possibili può essere la costruzione di un modello di corpo, una sorta di cantiere sempre in elaborazione, attorno al quale ci si ritrova a ragionare confrontando le nuove acquisizioni con ciò che si conosce. L'ascolto con lo stetoscopio, la misurazione della capacità polmonare di ciascuno, la dissezione di un cuore di capretto e di uno di maiale o di mucca, l'osservazione di polmoni e cuore di coniglio, dei polmoni di un capretto, di fegato e cistifellea di bovino (dalla quale ottenere la bile per emulsionare i grassi), la costruzione di modellini di cuore e di polmoni, i giochi di ruolo come quello del circolatorio, l'uso di modellini come il tronco anatomico o il cuore sono alcune delle esperienze possibili.

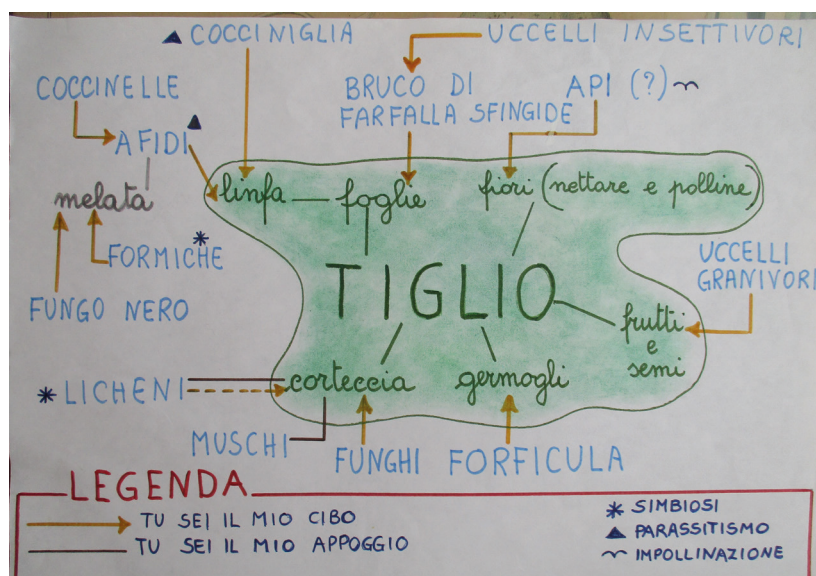
Intuire le relazioni fra i viventi e dei viventi con gli altri componenti dell'ambiente

Per cogliere queste relazioni, l'ideale è incominciare a frequentare una porzione di ambiente piccola e vicina alla scuola, raggiungibile più volte durante l'anno, tanto da diventare familiare.

La nostra scuola aveva un giardino con un certo numero di alberi e nei diversi quinquenni ho proposto protagonisti diversi: il tiglio più grande, oppure quelli nuovi appena messi a dimora, oppure tutti gli alberi del giardino da seguire nei cambiamenti di stagione in stagione. Proprio quest'ultimo era l'obiettivo concordato di ogni perlustrazione, senza però imbrigliare troppo l'osservazione (che con i bambini non è "focalizzabile" più di tanto e con gli anni ho smesso di insistere) anche per mantenere quel grado di libertà che consente di capire ciò che la classe al momento è in grado di cogliere.

Famigliarizzare è prima di tutto costruire poco per volta il piacere di distinguere, riconoscere e chiamare per nome: non più albero, ma tiglio, alloro, carpino, acero, ippocastano, lichene, non più uccello ma merlo, tortora, passero, oppure coccinella, lombrico, chiocciola, afide, cocciniglia, cameraria (farfallina parassita che allo stadio larvale scava lunghe gallerie nelle foglie degli ippocastani) e così via.

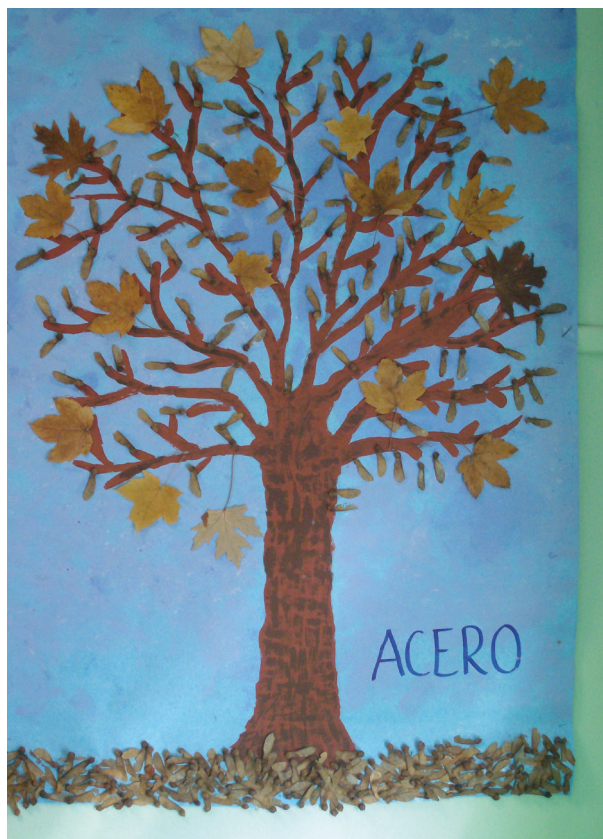
Attraverso ripetute osservazioni seguite dalle consuete discussioni, dai disegni dal vero, dai testi elaborati insieme e da quelli informativi, da foto e filmati, si ragiona sull'aspetto e sul funzionamento dei vegetali e sulla presenza di piccoli animali (insetti, uccelli, ragni, vermi, molluschi, crostacei sono i più comuni), ricostruendo man mano alcune relazioni alimentari – il "chi mangia chi" – e riscoprendo il ruolo svolto dall'acqua, dalla luce, dal suolo e dall'aria.



Fare laboratorio è mettere in gioco il potenziale formativo delle scienze

Si farebbe prima a raccontare. Soprattutto se si sa farlo bene, raccontare è infinitamente più semplice, meno impegnativo per l'insegnante, più veloce e per di più molto gradito ai bambini. Certo, qualcosa della scienza – curiosità, stranezze, episodi della sua storia, tratti di vite di scienziati/e, il tortuoso e difficile cammino della ricerca che ha portato ad importanti scoperte – si può raccontare, anche con il supporto delle immagini spettacolari disponibili in rete. Ma, alla scuola primaria, le discipline sono strumenti di formazione e non si può perdere l'opportunità di far crescere atteggiamenti, abilità, competenze fondamentali e irrinunciabili che la modalità laboratoriale, al contrario di quella trasmissiva della lezione frontale, permette di mettere in campo. Ne elenco solo alcuni che ritroviamo ben esplicitati nelle Indicazioni Nazionali⁵: accogliere, promuovere, sostenere curiosità e attenzione, stupore, emozione e meraviglia; costruire significati insieme ai coetanei, dando senso alla conoscenza, mettendo in atto processi di pensiero scientifico e organizzando il sapere in modo adeguato alle necessità cognitive; imparare a comunicare, a partecipare, a cercare le parole per dire, porre attenzione al linguaggio, ascoltare, riflettere, argomentare, distinguere i fatti dalle opinioni, fare congetture, progettare strategie, mettere alla prova, misurare, registrare. E non si pensi che i bambini non sappiano cogliere la differenza. Giulia infatti, dalla scuola media fa sapere a noi che siamo state le sue maestre: “ma adesso non facciamo scienze, le leggiamo sul libro... mi iscriverò alle superiori in una scuola dove si fa scienze davvero”. E ha frequentato con soddisfazione un istituto tecnico con laboratori scientifici ben attrezzati e soprattutto ben condotti. ●

5. https://www.miur.gov.it/documents/20182/51310/DM+254_2012.pdf



Insegnare biologia nella scuola secondaria di primo grado

Lucia Stelli

The reflection on the teaching of biological sciences continues with this article on lower secondary school. Starting from the problems of teaching, the didactic choices implemented to solve them are presented. We talk about some activities with pupils of different classes at school and in extracurricular contexts such as natural environments and museums. In every situation we speak of intervention strategies that promote the thinking strategies of scientific investigation.

Keywords: *Secondary school (grades 11-14), Scientific inquiry, Learning context, Learning progression*

La lettura dell'articolo di Maria Arcà *L'esperienza è solo il primo passo*, pubblicato nel precedente numero della rivista, mi ha indotto a ripercorrere la mia lunga esperienza di insegnamento nella scuola secondaria di primo grado e a riflettere sui problemi e le scelte didattiche che negli anni ho dovuto affrontare. Ho quindi deciso di attingere ai tanti ricordi per riordinarli e organizzarli in continuità con l'articolo di Maria Castelli, limitandomi anch'io a parlare di viventi.

I problemi di fondo

Come dice Maria Arcà "Guardiamoci in faccia e guardiamo le cose come stanno" e per guardare le cose come stanno non si possono ignorare i tanti problemi che investono l'insegnamento delle scienze nella scuola secondaria di primo grado. Per avere un'idea della loro entità e della loro portata basta leggere l'articolo di Cristina Duranti pubblicato lo scorso anno sulla rivista¹.

Per quanto mi riguarda mi soffermo solo sulle decisioni che hanno contribuito a determinare i miei cambiamenti di rotta, quelle che mi hanno fatto pensare di aver fatto le scelte giuste.



1. Duranti C, *Pensieri sulla formazione scientifica di base*, Naturalmente Scienza 2:75-81, 2022.

Partiamo dall'inizio, dal numero di ore della cattedra di Matematica e Scienze, di norma 6 per classe, poche per l'enorme quantità di temi da trattare. Con che cosa e come riempirle? È stato subito chiaro che non sarebbe stato facile prendere decisioni in merito e che avrei dovuto fare i conti con le mie carenze culturali. Ero infatti consapevole che la mia laurea in Biologia mi avrebbe supportato solo in parte e che anche solo pensando ai viventi, con i quali peraltro avevo un po' di familiarità, la vastità dei temi da affrontare era scoraggiante.

La ricerca di percorsi di formazione si imponeva, ma se mi sentivo in difficoltà con la biologia, figuriamoci con la matematica! E così quest'ultima finiva quasi sempre per avere il sopravvento. Inoltre i vari corsi disattendevano spesso le aspettative che vi riponevo, avrei avuto bisogno di orientamenti "semplici" invece di esempi "alti", proposte "normali" invece che "speciali", ma poiché così non era, il tirocinio l'ho fatto prevalentemente sui miei sbagli. Il primo è stato quello di affidarsi totalmente al libro di scienze.

I manuali scolastici

Qui si apre un capitolo spinoso perché i testi di scienze dovrebbero avere come interlocutori privilegiati i ragazzi ma sono invece scritti per gli insegnanti. D'altra parte le case editrici puntano sulle adozioni e sono solo interessate a capire che cosa motiva le scelte dei docenti. Ecco che, nell'intento di accontentare tutti, i testi finiscono per avere un taglio enciclopedico, relegando in secondo piano l'aspetto linguistico e quello sperimentale. Il linguaggio utilizzato è quello dell'adulto e ovviamente comunica all'adulto, il discente viene inevitabilmente bypassato; non potendo, da bambino, parlare come un adulto nella maggior parte dei casi impara a mente. Fortunatamente molti testi suscitano un po' d'interesse proponendo attività sperimentali, ma il pensiero non è certo mobilitato in modo produttivo dato che queste vengono presentate sotto forma di protocolli secondo lo stile del ricettario fornendo spesso anche conclusioni e risultati. Sarebbe pertanto necessario distinguere ciò che è rivolto

al docente da ciò che serve al discente. Finché il verbo "spiegare" non lascerà il posto al *problem solving* difficilmente il lettore/ascoltatore si sforzerà di capire, immaginare, osservare, interpretare e le competenze resteranno un miraggio.

Non è educativo svelare tutto e subito, descrivere i problemi non è la stessa cosa che esplorarli e analizzarli insieme agli alunni! Solo condividendo la ricerca si riescono a trovare risposte e non è detto che siano subito quelle giuste, vanno argomentate, discusse, condivise. Fornire "la pappa scodellata" è un servizio al docente, non agli alunni che imparano subito come aggirare gli ostacoli e non durano la fatica di pensare.

Oggi che abbiamo un mare magnum di informazioni a portata di clic, a maggior ragione, insegnare il pensiero critico è una priorità. Non ci si può limitare a cambiare solo il supporto.

Pur tuttavia nel panorama editoriale qualche libro "illuminato" esiste e in passato ho osato fare adozioni "temerarie", ma essendo quasi sempre l'unica della scuola a osare, la cosa finiva per isolarmi. Purtroppo l'insegnamento trasmissivo tradizionale è tuttora apprezzato da molti genitori e insegnanti!

Ho sentito il bisogno di un cambiamento di rotta con la nascita degli Istituti Comprensivi che ha portato all'avvicinamento, almeno fisico, dei vari ordini scolastici. Ho iniziato a percepire la responsabilità della continuità scolastica e a sentire il bisogno di dialogare prima di tutto con gli insegnanti della scuola primaria. Ho quindi cominciato a interessarmi allo sviluppo verticale dell'insegnamento fino ad assumere la funzione specifica di referente del laboratorio di progettazione/sperimentazione del curricolo verticale delle materie scientifiche. Allo stesso tempo ho cercato di dialogare con i colleghi per arrivare almeno all'adozione di un unico testo nell'istituto, cosa che avrebbe intanto comunicato all'esterno unità di intenti.

Diventare una figura di riferimento delle materie scientifiche è stato un punto di svolta fondamentale perché mi ha permesso di porre attenzione per prima cosa all'aspetto sequenziale di concetti e poi a quello trasversale, infine a condividere

la consapevolezza dell'importanza di questi due aspetti. Mi sono resa conto che non è possibile ad esempio far distinguere, comparare, classificare se non si costruiscono i processi di osservazione e descrizione. La scommessa è stata quindi armonizzare, riprendere, anticipare e/o approfondire alcuni saperi essenziali quali saper manipolare, osservare, confrontare, mettere in ordine e classificare, riconoscere l'appartenenza a un insieme.

L'aula come palestra didattica

Tornando alle scelte iniziali, una volta realizzato che non potevo affidarmi esclusivamente al libro di testo e che avrei dovuto praticare la ricerca-azione per ragionare su problemi e promuovere processi di pensiero, mi sono interrogata su quali esperienze proporre. Non potevo che stare con i piedi per terra e partire dalle piccole cose. C'erano comunque le Indicazioni Nazionali a rassicurarmi²: "La valorizzazione del pensiero spontaneo dei ragazzi consentirà di costruire nel tempo le prime formalizzazioni in modo convincente per ciascun alunno. La gradualità e non dogmaticità dell'insegnamento favorirà negli alunni la fiducia nelle loro possibilità di capire sempre quello che si studia, con i propri mezzi e al proprio livello".



E così ho cominciato a curare i "preparativi del viaggio" interessandomi per prima cosa a ciò che i miei alunni avevano fatto alla scuola primaria.

Richiamare alla mente esperienze pregresse comporta la ricostruzione di un puzzle a più mani, attività impegnativa, ma anche produttiva perché non si è soli e si possono mettere a fuoco oltre al problema affrontato anche difficoltà, dubbi, errori. Nella mia esperienza ho riscontrato che una delle attività comunemente svolta alla scuola primaria è quella della germinazione del seme.

Dai racconti emergono varie modalità di semina che spaziano dall'utilizzo del cotone idrofilo umido al ricorso a mezze bottigliette di plastica riempite con segatura, a vasetti con terriccio, ai vassoi per la germinazione dei negozi di agraria. Solitamente i ricordi vengono riportati dagli alunni in modo "disordinato", una buona occasione per riorganizzarli proponendo ad esempio di allestire un esperimento per verificare l'importanza del fattore acqua per la germinazione. Ecco uno stralcio di discussione in proposito:

Tommaso – Preparerei 2 barattoli con segatura in ognuno dei quali metterei un fagiolo. Nel primo barattolo lascerei la segatura umida e nel secondo metterei molta acqua.

Gaia – Userei 3 barattoli: nel primo metterei molta acqua, nel secondo la segatura umida, nel terzo la segatura asciutta.

Michael – Preparerei 2 contenitori: il primo con segatura umida e con un fagiolo e l'altro con segatura asciutta e con un seme di favino a germinare.

Emanuele – Preparerei 2 contenitori con terriccio posti vicino ad una fonte di calore; nel primo metterei molta acqua, nel secondo manterrei la terra umida;

Michele – Preparerei 2 mezze bottiglie con terriccio ed un fagiolo in ognuna; il primo lo tapperei con lo scottex e lo metterei vicino ad una fonte di calore, l'altro lo terrei all'ombra con terriccio umido senza scottex.

2. https://www.miur.gov.it/documents/20182/51310/DM+254_2012.pdf

Michele aggiunge che lo scottex serve per vedere se l'effetto serra influisce sulla germinazione. Francesca interviene per dire che la proposta di Michele non va bene perché "cambia troppe troppe cose", Tommaso ricorda che l'esperimento da progettare avrebbe dovuto dimostrare la necessità dell'acqua per la germinazione del seme. Dice che "siamo andati fuori tema" e che secondo lui bisogna escludere quelle che prendono in considerazione più fattori in contemporanea. La sua considerazione risulta convincente e pertanto rimangono in gioco solo le proposte di Tommaso e Gaia. Invitati a confrontarle, tutti concordano che quella di Gaia è più completa, perché prevede anche un campione che non verrà innaffiato. Viene sottolineata l'importanza del campione di controllo, come il campione senza il quale non è possibile effettuare un confronto e quindi trarre le corrette conclusioni. Le conclusioni finali, condivise da tutti, conducono ad affermare che per progettare un esperimento è necessario in primo luogo avere ben chiaro lo scopo della nostra indagine, mentre, in seconda istanza, si procede cambiando la variabile di cui vogliamo comprendere l'effetto. L'ambiente classe si rivela pertanto una buona palestra didattica, vale a dire un luogo in cui ci si allena a indagare la natura secondo il linguaggio e il pensiero della scienza e soprattutto un luogo in cui si impara a valorizzare cose a cui avevamo inizialmente rivolto un primo sguardo facendo in modo che diventi sempre più penetrante. Va da sé che l'approfondimento non è scontato e potrebbe anche non avvenire mai se non ci fosse qualcuno o qualcosa che lo favorisce.

Un altro campo d'indagine che ben si colloca in continuità con la scuola primaria riguarda lo studio del corpo umano e facilmente possono essere riprese o condotte *ex novo* esperienze di dissezione che permettono di ragionare sulla struttura degli organi e la relazione tra forma e funzione per poi esplorare le loro connessioni. Un modo per dar senso a ciò che è illustrato sul libro scongelando la staticità dell'immagine.

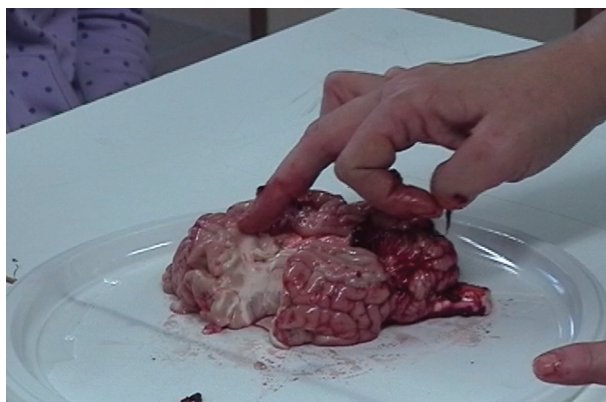
A questo proposito non ho dimenticato l'alternarsi di emozioni negli occhi dei ragazzi e il passaggio dal senso di repulsione a quello di stupore

e poi di coinvolgimento di fronte al cervello di vitello portato in classe una mattina. "Non mi aspettavo che i solchi fossero così profondi e ci fosse una guaina di protezione che fa espandere così tanto il cervello" dice Davide.

Alla domanda di come si spiega la differenza di colore che è evidente sezionando gli emisferi, Sara ipotizza che la parte bianca sia la memoria, l'intelligenza, e Valerio precisa: "Si vedono diramazioni e per me svolge una funzione di collegamento". Da qui ad associare l'intelligenza ai collegamenti che uno riesce a fare il passo è stato breve.

Metterci le mani per esplorarne la superficie e capirne la consistenza è stato alla fine naturale. Senza dubbio la mia disinvoltura nel manipolare organi quali cervello cuore, polmoni, fegato... incuriosisce e porta ad agire. Per fare scienze è necessario sporcarsi le mani e questo ai ragazzi piace!

Sicuramente non piace invece a tutti gli insegnanti, ma qui si tratta di assumere la veste dell'anatomista per far cogliere quegli elementi concreti che stimolano l'immaginazione ad andare oltre la morfologia. Facendo emergere l'importanza che ha la vista nell'indagine scientifica si può anche



far capire che il linguaggio visivo non è solo uno strumento per trasmettere informazioni, ma è soprattutto un mezzo per pensare. Utile a questo proposito anche una riflessione di tipo storico richiamando le tavole anatomiche di Leonardo e Vesalio che hanno fatto del disegno uno strumento scientifico.

Fuori dall'aula

Fare dell'aula una palestra didattica non significa però restarvi sempre confinati, moltissime sono le occasioni per uscirne. Non a caso le Indicazioni nazionali suggeriscono: "Le esperienze concrete potranno essere realizzate in aula o in spazi adatti: laboratorio scolastico, ma anche spazi naturali o ambienti raggiungibili facilmente".

Indubbiamente la cosa più facile è uscire dalla classe per entrare in un'aula attrezzata a laboratorio scientifico, ma nell'indagine sui viventi sarà proprio dai territori esterni che proverranno le esperienze più significative, quelle che permetteranno di mettere in pratica, dare senso e spazio a ciò che si è imparato in classe.

Alcune di queste esperienze si sono rivelate particolarmente incisive per promuovere processi quali osservare, descrivere, classificare, stabilire relazioni, fare congetture.

L'indagine sulla biodiversità dei viventi offre così tante occasioni che c'è solo l'imbarazzo della scelta e non c'è da meravigliarsi che le piante rappresentino il primo terreno da esplorare, non c'è bisogno di andarle a scovare, basta fare un passo fuori dalla scuola per incontrare alberi solitamente ignorati, ignoti ai più.

A parte il riconoscimento di pini e cipressi non mi è mai capitato che qualcuno indicasse con il nome comune il leccio, la farnia, il tiglio, la quercia rossa americana che stavano proprio lì in prossimità dell'ingresso di scuola: una buona occasione per dedicare un po' di attenzione a questi alberi e confrontarli scoprendo inaspettati caratteri comuni. Dare loro un nome diventa a questo punto un'esigenza, sancisce l'appartenenza a un insieme con determinate proprietà e fa capire il senso del riconoscimento. Si dà il nome a qualcosa che si distingue, ma quale nome? Si fa strada

un primo concetto di specie (è alla specie e non all'individuo che si dà il nome), quello di genere nasce invece dalla ricerca di un indizio di parentela. Si scoprono così i nomi generici e quelli specifici a costituire una gerarchia.

Si comprende che le querce sono molto diverse tra loro, che non tutte hanno foglia lobata, ma tutte hanno le ghiande.

In seguito sarà anche possibile osservare che le foglie del giovane leccio donato alla scuola da Legambiente sono diverse da quelle del leccio adulto. Spiegare la presenza di margini dentellati e spinosi risponde a una curiosità spontanea e viene facile associare tale carattere al vantaggio di scoraggiare eventuali animali brucatori. Si fa dunque anche strada il legame specie-ambiente ecologico che in seguito si estenderà a quello geografico.



La ricognizione del fuori scuola porterà all'esplorazione di un ambiente naturale e a promuovere una visione sistemica. Un prato, un bosco, un fiume solitamente sono facilmente raggiungibili e talvolta lo è anche un ambiente costiero, com'è stato nella mia esperienza.

Si può far didattica laboratoriale ovunque, e constatare che la vita si manifesta con adattamenti incredibili è qualcosa che lascia il segno. Ricordo l'uscita al mare come quella più arricchente dal punto di vista formativo sia per me che per i miei alunni proprio per le scarse aspettative che avevamo: "Che ci sarà mai di interessante su una distesa di sabbia?"

Nessuno si aspettava che in un ambiente all'apparenza ostile la vita fosse così ricca e "organiz-

zata” e nemmeno avrei pensato di collaborare anni dopo all’adozione didattica di un ambiente dunale. Evidentemente l’impatto emotivo della scoperta spinge all’azione. C’è poi anche la convinzione che, per vicinanza e stato di naturalità, questo ambiente, più di altri, possa attrarre visitatori. Più di altri, anche perché nell’immaginario collettivo la sabbia evoca il deserto. Altro che deserto! La ricchezza di vita è stupefacente tanto più se vista in ottica sistemica. Quante persone sono ad esempio in grado di mettere in relazione le cosiddette “palle di mare” (nome scientifico *egagropile*) con il disfacimento della *Posidonia oceanica*? Scoprire io stessa che erano residui fogliari fibrosi di una pianta marina e non alghe come comunemente si crede, mi ha spronato a mettere a frutto la meraviglia di tale scoperta. Sicuramente lo stesso stupore l’avrebbero provato i miei alunni e da questo alla voglia di vedere, al saper vedere e al problematizzare, il passo sarebbe stato breve.



Il discorso didattico, nel mio caso, è iniziato proprio dalle “palle di mare” per indagare non solo la loro genesi, ma soprattutto la loro composizione e utilità (tutto serve nell’economia della natura!). La raccolta di vari reperti ci ha permesso di capire che le fibre vegetali disgregate dal moto ondoso si riaggregano a formare strutture arrotondate.

Non è stato difficile comprendere la loro importanza nella formazione delle dune. È bastato osservare la loro presenza in uno spaccato dunale. Cosa ci stavano a fare lì dentro, lontano dalla battigia?

Una volta verificato in classe il potere imbibente delle egagropile (incredibile quanta acqua riescono ad assorbire!) si è fatta strada l’ipotesi che l’acqua piovana intrappolata al loro interno costituisse una riserva di acqua dolce per le piante che possono mettervi radici creando così l’impalcatura dunale. Certo non tutte servono a fare duna e gli accumuli spiaggiati (*banquettes*) di *posidonia* che si ritrovano su molti litorali spalmati sulla battigia vengono malvisti dai bagnanti che li considerano un rifiuto e come tale un elemento di disturbo. Si può invece scoprire che costituiscono un materiale che può essere raccolto ed utilizzato per vari scopi, trasformandolo da rifiuto a preziosa risorsa ambientale ed economica³. Un’occasione anche per promuovere il rispetto consapevole di un ambiente naturale.

Portarsi in classe i problemi emersi durante le uscite è un bel modo per superare l’idea che le scienze siano confinate nei libri e che i concetti e le abilità costruiti a scuola siano forme inerti di istruzione: è buona cosa che gli alunni maturino la consapevolezza che sono spendibili nell’osservazione della realtà circostante, nella vita quotidiana, durante una passeggiata all’aria aperta.

Le risorse museali

Alle risorse naturali, ben si affiancano quelle dei musei non distanti da scuola. Nella mia esperien-

3. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/formeducambiente/educazione-ambientale/progetti-ed-iniziative-1/posidonia-spiaggiata-una-risorsa-ambientale>

za Orto Botanico e Museo di Storia Naturale hanno rappresentato luoghi significativi che hanno ben supportato il lavoro di classe.

Certo è necessario avere le idee chiare e non delegare a chi solitamente in tali luoghi guida i laboratori per le scuole; prima di tutto serve conoscere le risorse museali per capire come poterle utilizzare in modo laboratoriale. Riporto solo due esempi.

Il primo riguarda la messa a punto di una chiave dicotomica ad hoc per il riconoscimento dei più comuni generi di gimnosperme.

Si tratta di un'attività che svolta in un ambiente favorevole come l'Orto Botanico ben si presta a rinforzare le capacità di osservazione e correlazione e ad acquisire conoscenze e metodi specifici nonché una maggior proprietà di linguaggio. Personalmente l'ho sperimentata con una seconda classe richiedendo la collaborazione del giardiniere per oscurare i cartellini identificativi degli alberi da individuare. Gli alunni, suddivisi in piccoli gruppi, si sono così avvicinati alla botanica sistematica attraverso una modalità giocosa e hanno compreso che "ciò che a prima vista può apparire uguale, osservato da vicino non lo è" (così si è espressa un'alunna). Ma questo non è che il primo passo per affinare l'osservazione e andare più a fondo nel confronto; si possono anche comparare piante di uno stesso genere come ad esempio *Pinus* e arrivare a distinguere due specie comuni come *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*. Oltre a rilevare che il numero delle foglie riunite in mazzetti può essere diverso, si appura che le foglie possono essere diverse anche per



lunghezza, tonalità di verde, consistenza e forma. Colpiscono le foglie ritorte del pino silvestre.

Un'altra esperienza coinvolgente ha riguardato la scoperta di caratteri adattativi in relazione all'ambiente di vita. Rilevare che esistono foglie carnose, lucide come se fossero ricoperte di cera, trasformate in spine, pelose sulla pagina inferiore, porta a espandere il concetto di variabilità e a fare congetture sempre più argomentate.

Percorsi analoghi possono essere proposti sugli animali nel Museo di Storia Naturale che indubbiamente hanno una maggiore attrattiva sui ragazzi.

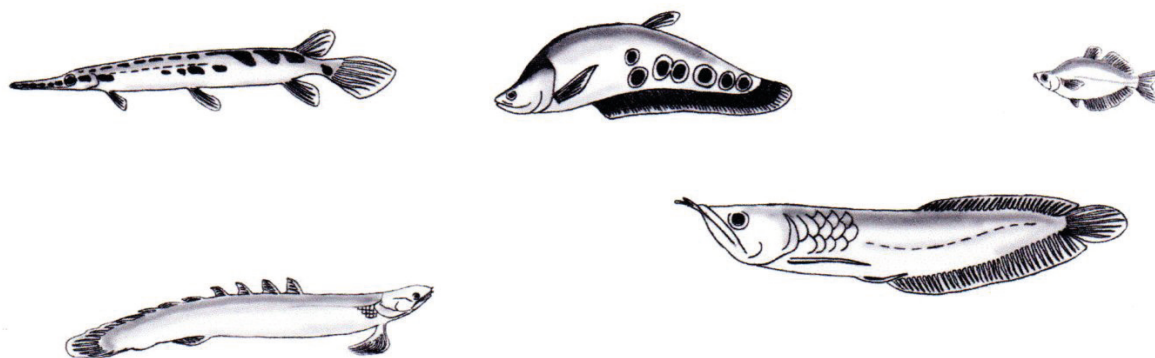
Tra quelli inseribili in una programmazione curricolare cito soltanto un'attività sui pesci di acqua dolce che ha costituito un contesto d'apprendimento assai proficuo.

Del resto c'era da immaginarselo visto che gli animali vivi esercitano una grande attrattiva su bambini e ragazzi. In effetti la grande varietà di forme e colori (sorprendente per pesci d'acqua dolce), cattura l'attenzione dell'osservatore e porta a fare confronti e individuare relazioni⁴.

Ho sperimentato questo percorso più volte con le classi prime, finalizzandolo alla scoperta della relazione forma-funzione. Le diverse forme e le diverse posizioni di bocca e pinne hanno permesso infatti di inferire aspetti rilevanti della vita



4. <https://www.msn.unipi.it/wp-content/uploads/2015/09/Presentazione-Simone-Farina-PESCI-PARTE-2.pdf>



animale, quali il modo di spostarsi in acqua, l'alimentazione, il rapporto preda-predatore. È un percorso di affinamento dell'osservazione lento e graduale quello che porta a comprendere che occhi posti nei pressi della superficie dell'acqua e bocca rivolta verso l'alto rappresentano un adattamento per alimentarsi di insetti e piccoli pesci, e a capire come anche le pinne situate in prossimità della coda siano adatte a spiccare salti per catturare prede.

Esplorazioni in lungo e in largo

Prima di concludere voglio rafforzare tre aspetti che sono alla base dell'insegnamento scientifico (e non solo), ricorrendo all'immagine mentale dell'esplorare "in lungo e in largo". Ho già parlato di esplorazione e di curricolo verticale, ma mi fa piacere associarli adesso anche a una visione trasversale che chiama in causa anche altre discipline.

L'*esplorazione* non è altro che l'approccio ai problemi, un'azione di ricerca che si sviluppa in varie direzioni, di cui due mi appaiono privilegiate per fare cultura: la continuità nel tempo (*lungo* in questo caso dà l'idea di una durata che si protrae per tutto l'arco del I ciclo d'istruzione) e l'attraversamento di vari ambiti disciplinari (*largo* in questo caso suggerisce un ampliamento di vedute e il superamento di barriere culturali).

Mentre l'indagine per problemi si sta diffondendo nell'insegnamento, non mi pare di poter dire altrettanto delle "estensioni" in lungo e in largo. Probabilmente i ragazzi cresceranno comunque

con esperienze isolate che poi da adulti riusciranno ad analizzare criticamente, sintetizzare, collegare, ma nel frattempo quante ne avranno perse per strada? Di quante non saranno riusciti a cogliere l'essenza? Quante saranno rimaste isolate e inerti quando avrebbero potuto divenire feconde?

Avrei *esplorato* ben poco se non avessi investito energie per superare l'occasionalità, il preconfezionato, l'immediato. Nel verbo *costruire*, tanto ricorrente nelle programmazioni attuali (tutti i docenti si sentono costruttivisti), sta prima di tutto la costruzione di strumenti d'indagine, strumenti concettuali rigorosi che non possono essere dati per scontati o in modo approssimativo, ma vanno costruiti in modo processuale ponendo attenzione al linguaggio e al metodo. Mi ricordo sempre con un certo imbarazzo, ma ero al mio primo anno d'insegnamento, una prova d'ingresso di scienze data in una classe prima, in cui chiedevo agli alunni di osservare alcune conchiglie e descriverle. Le descrizioni prodotte furono talmente misere che mi preoccupai (si limitavano a rilevare colore e forma, niente di più), ma cominciai a rendermi conto che l'osservazione richiede l'attivazione di tutti i canali percettivi (i nostri strumenti naturali), le parole giuste per descrivere le proprietà percepite e la conoscenza degli ordinatori logici del testo descrittivo; di colpo rilevai tutta la complessità della richiesta e mi resi conto che sarebbe stato necessario lavorare su tutti questi aspetti. Ma per insegnare a osservare sarebbe stato utile ricercare esperienze simili fatte alla scuola pri-

maria e anche coinvolgere la collega di lettere per costruire un percorso specifico, sperimentarlo in compresenza, in pratica procedere “in lungo e in largo”. Accingendomi a esplorare territori linguistici compresi anche che mi sarebbe servito riempire di significato le parole. A questo riguardo, oltre al dizionario etimologico mi è stato utile un vecchio libro di Isaac Asimov: *Le parole della scienza*⁵. Vi ho trovato la storia di quattrocento termini scientifici e ho iniziato a interessarmi e a interessare i miei alunni al significato di parole che veicolavano concetti portanti delle scienze, biologia compresa.

Raccontare la storia delle parole aiuta infatti a comprendere non solo il loro significato, ma anche le idee che le accompagnano e aiuta a costruire altre connessioni. Basti pensare a parole come cellula, fotosintesi clorofilliana, microbiologia, protozoo solo per citarne alcune. Non solo. Nelle scienze sono comuni parole composte e conoscere il significato di prefissi e prefissoidi, come di suffissi e suffissoidi è estremamente utile per giocare a montare e smontare le parole come fossero costruzioni lego. Già il prefisso bio è rintracciabile in moltissime parole di uso comune: biologico, biodiversità, biodegradabile, biotecnologie...

Non ci sono però solo le parole ad aprire la mente, anche la storia, la tecnologia, l'arte contribuiscono ad ampliare la visuale con le connessioni che permettono di fare.

Conoscere la storia di una scoperta, quale ad esempio quella dei microrganismi, o gli esperimenti che hanno permesso di superare teorie errate come ad esempio quella della generazione spontanea o che hanno portato a conquiste come la vaccinazione, fa comprendere quanto possa essere lungo, difficile, rigoroso, il cammino della scienza e mette in guardia da idee estemporanee e posizioni negazioniste.

La tecnologia poi fa anch'essa la sua parte e, senza considerare il grande contributo di quella in-

formatica, permette ampliamenti che riguardano ad esempio la produzione di materiali di origine naturale quali carta, fibre tessili, prodotti alimentari. I processi di lavorazione portano poi a scoprire coloranti naturali, enzimi, lieviti...

Anche l'arte può dare un contributo, basta pensare al disegno scientifico, alle tavole anatomiche e alle riproduzioni dal vero di piante e animali. E la mente va a Leonardo da Vinci, a Hooke, a Darwin.

Non sono meno importanti le connessioni con la matematica, più facili da individuare e gestire in quanto rientrano a pieno titolo nell'insegnamento delle Scienze. Utilissimo il campo sterminato dei dati statistici per analizzare e prevedere fenomeni, per dare significato ai grafici.

Riporto qui a titolo di esempio la conclusione di un'indagine sulla variabilità intraspecifica condotta in una classe terza. Chi l'avrebbe mai detto che la frequenza del numero delle strisce chiare dei semi di girasole si sarebbe distribuita secondo la tipica curva a campana della gaussiana? Un simile risultato non lascia indifferenti.



Conclusioni

Nel fare scienze nel primo ciclo d'Istruzione quello che più conta non sono tanto le conoscenze, ma gli atteggiamenti e i processi di pensiero:

5. Asimov I, *Le parole della scienza*, Milano, Mondadori, 1976.

porsi interrogativi e imparare a smontare la complessità individuando componenti, processi, relazioni, isolando le questioni senza però perdere di vista il loro legame con altri elementi del sistema e campi del sapere. Si tratta poi di ragionare attorno a organizzatori del pensiero scientifico quali: diversità, cambiamento, interazione, adattamento, macroscopico, microscopico... e per questo ogni essere vivente è uno scrigno ricolmo di opportunità didattiche.

Sono consapevole di averne colte solo alcune, ma l'idea di fondo era sottolineare come un'attività possa diventare esemplare dal punto di vista me-

todologico e come tale trasferibile in altri contesti, su altri "oggetti", non solo viventi. Certo è che si deve fare i conti con i diversi punti di vista di genitori e anche di colleghi che non condividono la scelta di dedicare molto tempo a ragionare su un solo ambiente o su alcuni alberi o pesci. Fortunatamente i ragazzi apprendono che andare oltre la superficie delle cose è la chiave che apre alla comprensione e se all'inizio fanno una gran fatica, alla fine riconoscono di poter affrontare il nuovo senza timore perché possiedono gli strumenti cognitivi per farlo. Tanto basta per ripagare anche la fatica dell'insegnante. ●

Marco Balzano
Le parole sono importanti
 Dove nascono e cosa raccontano
 Super ET Opera viva, Einaudi 2019



Si tratta di un piccolo grande libro, piccolo perché ha meno di cento pagine, grande per l'importanza del tema che affronta: l'origine e la storia delle parole.

Balzano, da insegnante e scrittore, sa quanto le parole siano importanti e quanto possa essere affascinante raccontarle. Ce lo ricorda nell'introduzione del suo saggio: "Quando ci raccontano un'etimologia, qualcuno ci svela cosa c'è dentro la parola e da semplice referente la trasforma in un mondo da esplorare, un mondo pieno di elementi che erano sotto i nostri occhi, ma che non avevamo mai notato. Proviamo un entusiasmo immediato perché riconosciamo qualcosa che non sapevamo di sapere".

Come l'autore, anch'io mi sono sempre meravigliata di come a scuola l'etimologia non abbia la considerazione che merita quando potrebbe costituire l'approccio più logico e naturale, non solo allo studio della lingua, ma a quello di tutte le discipline. Perché considerarla una prerogativa delle materie umanistiche e degli studi liceali? Cosa c'è di meglio per accendere l'interesse degli alunni che cominciare dall'esplorazione dei significati delle parole? Non c'è bisogno di conoscere latino e greco per capire che le parole si possono "sbucciare", spac-

care, comporre utilizzando ad esempio prefissi diversi. Basta cominciare a farlo e poi una parola tira l'altra.

Quelle che Balzano ha scelto sono parole di uso comune che appartengono al suo lavoro di insegnante e scrittore. Sono solo dieci: divertente, confine, felicità, social, memoria, scuola, contento, fiducia, parola, resistenza. Di ciascuna l'autore ci racconta origine, storia, significati – spesso più d'uno – aneddoti, richiamando autori e testi che vanno a comporre una ricca bibliografia.

La parola che ho sentito più mia è stata memoria forse per il timore che si stia perdendo il suo significato etimologico riferito all'atto del ricordare non come atto meccanico, ma come il risultato di un'attivazione. Nel verbo memini, fa presente l'autore, c'è "il progetto, l'intenzione, la costruzione, insomma le componenti del pensiero. Questo sforzo di recuperare un brandello di tempo e di rappresentarlo fa sì che il verbo designi anche il racconto, la narrazione. Le 'memorie' sono infatti un genere letterario". C'è oggi il rischio di considerare la memoria come hardware esterno a cui ricorrere ogni volta che non sappiamo o che non ricordiamo e per questo Balzano cita il neuropsicologo Francis Eustache per sottolineare come la memoria sia prima di tutto la mia conoscenza (ciò che ho dentro), indispensabile per fare una sintesi con quello che via via apprendo (ciò che sta fuori). La memoria umana è fragile, ma è l'unica che può mantenere una dimensione etica, una funzione critica e una capacità di sintesi. Per questo è fondamentale tener vivo il suo potere selettivo.

Come memoria anche le altre parole ci spalancano un mondo nuovo e nasce la voglia di saperne di più, non tanto su quella singola parola che ci viene raccontata, sempre più di quanto avremmo immaginato, ma su altre parole che ci rispecchiano. Cosa che farebbe senz'altro piacere all'autore che così conclude la sua introduzione: "Non saprei augurarmi soddisfazione più grande di una continuazione di questo libro con le parole che rispecchiano di più la sensibilità del lettore".

Lucia Stelli

Il 25 luglio scorso è venuto a mancare, dopo una breve e fulminante malattia, Angelo Baracca che, negli ultimi anni, ha collaborato molto attivamente alla nostra rivista. Ricordiamo i suoi contributi su temi come il nucleare, da sempre al centro dei suoi interessi (*L'altra faccia subdola del nucleare*, in collaborazione con Giorgio Ferrari, nel n. 3/2022; *Sull'orlo del precipizio: la minaccia nucleare*, nel n. 1/2023; nello stesso numero e ancora in collaborazione con Giorgio Ferrari, *Fusione e confusione nucleare*), sull'emergenza climatica (*Sull'orlo del precipizio: la crisi climatica*, nel n. 1/2023), sul dibattito relativo al ruolo della scienza (*Le controversie degli anni Settanta fra marxisti dialettici e storici*, nel n. 3/2022). Pubblichiamo qui un *Ricordo* scritto dal suo allievo Flavio Del Santo e comparso nel sito della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (<http://www.sisfa.org/notizie-eventi/ricordo-di-angelo-baracca/>).



Ricordo di Angelo Baracca

È con profonda tristezza che apprendiamo della scomparsa di Angelo Baracca (1939-2023), un pioniere della storia della fisica e dell'attivismo antinucleare ed ambientale in Italia. Originario di Lugo di Romagna, dopo la laurea in fisica a Milano, dal 1967 fino al pensionamento, è stato docente di fisica statistica all'Università degli Studi di Firenze (da ricordare il suo *Manuale critico di meccanica statistica* del 1980 che ha accompagnato generazioni di fisici fiorentini).

Dagli anni '70, nel generale clima di protesta sociale e accademica, il suo interesse virò verso la ricerca sui fondamenti della meccanica quantistica nel contesto di una radicale critica alla struttura capitalistica della fisica moderna, come la Big Science nella fisica delle particelle che lo portò alla pub-

blicazione, con il compianto Silvio Bergia, de *La spirale delle alte energie* (1975). L'attività critica di Angelo si è poi dipanata in molte direzioni, tra le principali delle quali la storia della fisica, dove condusse rigorose analisi della scienza dal punto di vista del materialismo storico di Marx. Tra i contributi principali di quel periodo sono da ricordare, oltre a numerosi articoli accademici, la partecipazione alle riviste *Sapere* e, più tardi, *Testi e Contesti*, nonché i libri *Marxismo e scienze naturali* (1976) con Arcangelo Rossi, *Natura e storia: fisica e sviluppo del capitalismo nell'ottocento* (1976) con Roberto Livi e, con Stefano Ruffo e Arturo Russo, *Scienza e industria: 1848-1915* (1979); quest'ultimo, volto a dimostrare come le rivoluzioni delle scienze moderne (dalla fisica statistica all'elettromagnetismo,

dalla chimica organica alla meccanica quantistica) fossero il prodotto di nuove necessità economiche della società capitalistica della seconda rivoluzione industriale, è stato recentemente definito da Jürgen Renn, direttore del MPIWG di Berlino, “un tesoro ingiustamente dimenticato della storia della scienza”. In anni recenti, Angelo si era poi occupato di ricostruire la storia della scienza a Cuba, paese da lui amatissimo, con i libri *The history of physics in Cuba* (2014) e *Cuba: medicina, scienza e rivoluzione, 1959-2014* (2019), insieme a Rosella Franconi.

Fedele ai propri ideali di giustizia sociale ed estraneo al compromesso, Angelo si era via via allontanato dalla ricerca all'interno dell'accademia, dove però aveva continuato con passione l'insegnamento della fisica presso l'Università di Firenze in altri corsi di laurea quali quello in biotecnologie e continuando al contempo a tenere, a titolo gratuito ben oltre il suo pensionamento, il corso di “Storia e fondamenti della fisica”. È grazie a tale corso che da giovanissimo studente di fisica ho avuto la fortuna di conoscere Angelo, che è divenuto per me un vero mentore e col quale, dal 2014, ho collaborato a progetti sulla storia della fisica dei fondamenti nel dopoguerra italiano. Personalmente, gli devo quindi non solo la mia passione e formazione in storia della fisica, ma anche l'interesse per i fondamenti della meccanica quantistica, discipline che sono divenute entrambe il fulcro delle mie attività di ricerca.

Sarebbe perciò quantomeno riduttivo, e forse poco apprezzato dallo stesso Angelo, limitare il suo ricordo alla sola attività accademica, ma sarebbe altresì impossibile elencare le innumerevoli battaglie che, se pur da pacifista, Angelo ha combattuto sempre in prima linea e immancabilmente al fianco dei giovani e degli studenti. Altri, e in altri contesti, scriveranno di Angelo l'attivista, ma è doveroso qui ricordare almeno il suo impegno pluridecennale contro il nucleare, sia ad uso civile che soprattutto militare, battendosi per il trattato di abolizione delle armi nucleari (TPNW) e conducendo una vasta opera di informazione attraverso articoli e i libri quali *A volte ritornano: La proliferazione nucleare ieri oggi e domani* (2005), *L'Italia torna al nucleare?: I rischi, i costi, le bugie* (2008) e, con Giorgio Ferrari, *SCRAM: Ovvero la fine del nucleare* (2011). Inoltre, la vita di Angelo è stata caratterizzata da un impegno politico a tutto tondo: dai consigli di fabbrica, all'e-

sperienza come consigliere regionale in Toscana per Democrazia Proletaria, dalla promozione del *Comitato Scienziati e Scienziati Contro la Guerra* alle assidue partecipazioni alle manifestazioni di piazza (recentemente anche a fianco dei giovani di *Fridays for Future*). Prolifico saggista, Angelo ha scritto numerosi articoli, fra i molti temi, contro la guerra, sull'ecologia e sul cambiamento climatico. Nella sua vita di combattente pacifista, Angelo non è stato invulnerabile né inscalfibile, ma un essere umano speciale e tenace immerso nella realtà del suo tempo, che, sebbene portasse il peso di ogni sconfitta e l'afflizione di vedere un mondo ogni giorno più sull'orlo del baratro, ha sempre avuto la forza di rialzarsi per affrontare ogni nuova sfida senza darsi per vinto. Tutti noi, specialmente i più giovani, abbiamo perso oggi non soltanto un maestro e un amico, ma un vero punto di riferimento su come affrontare la vita senza rassegnazione, con la consapevolezza di potersi battere per cambiare le cose in meglio. Chi lo ha conosciuto immagina che, ovunque Angelo sia andato, sarà già in prima linea per cambiare le cose in meglio.

Flavio Del Santo



Hanno collaborato a questo numero:

Maria Castelli, laureata in Scienze naturali, è stata insegnante nella Scuola primaria. Ha partecipato alla stesura delle Indicazioni nazionali (2007) e al Piano ISS come formatrice e membro del comitato scientifico.

Raffaello Corsi è laureato in Scienze Biologiche e specializzato in Scienza e Tecnica delle Piante Medicinali all'Università di Pisa. Ha insegnato Matematica e Scienze nella Scuola secondaria e nei Licei, occupandosi anche molto di Educazione Ambientale. È autore di diversi testi scolastici di Scienze Naturali per la scuola secondaria di primo grado. Da sempre interessato alla tutela della Natura e della Biodiversità, ha collaborato in studi per la gestione delle zone umide toscane del Padule di Bientina, Padule di Fucecchio e Lago di Sibolla (progetti LIFE) e per i Siti di Importanza Comunitaria dell'Appennino Pistoiese. Da 30 anni collabora con Legambiente Valdera, anche nella gestione della Riserva Provinciale del Padule di Bientina (Bosco Tanali) e con il Centro di Ricerca Documentazione e Promozione del Padule di Fucecchio.

Andrea Corti, laureato in Scienze Agrarie, dottore di ricerca in Scienze Chimiche, è Funzionario Tecnico Categoria D (Area Tecnica, Tecnico-scientifica ed Elaborazione Dati) presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa. Collabora a progetti di ricerca nazionali ed internazionali sulla compatibilità ambientale e sulla degradazione biologica di materiali plastici, di inquinanti polimerici idrosolubili nonché dello studio della diffusione di micro e nano plastiche attraverso la predisposizione di appositi protocolli analitici.

Flavio Del Santo è ricercatore di fisica teorica presso l'Università di Ginevra. Dopo la laurea in fisica e astrofisica e l'attivismo politico all'Università di Firenze, ha conseguito un dottorato di ricerca all'Università di Vienna. Lì i suoi principali interessi accademici si sono focalizzati sui fondamenti della meccanica quantistica e sulla storia e la filosofia della fisica moderna. In particolare, si è occupato di ricostruire i contesti culturali e politici che hanno portato alla rinascita dei fondamenti della meccanica quantistica nel dopoguerra italiano e in quello austriaco.

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.

Yuri Galletti, laureato in Biologia marina, master in Gestione della fascia costiera e delle risorse acquatiche e tecnico per il monitoraggio ambientale. Si occupa di divulgazione ed educazione ambientale ed elabora progetti. Ha partecipato alla prima *Summer Accademy* organizzata dal Club di Roma. È presidente dell'Associazione "Semi di Scienza" e vicepresidente del Circolo Legambiente di Pisa.

Nicoletta Lanciano è professoressa associata di Didattica delle scienze presso l'Università di Roma "La Sapienza", ha un dottorato in Didattica dell'Astronomia (Università di Ginevra), è responsabile del Gruppo di ricerca sulla pedagogia del cielo del MCE (Movimento di Cooperazione Educativa). Fa parte del Direttivo della SIA (Società Italiana di Archeoastronomia). Fa ricerca sulla formazione degli insegnanti in diversi contesti urbani e naturali.

Eleonora Polo è laureata in Chimica e ha conseguito il dottorato in Scienze Chimiche. È ricercatore 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.

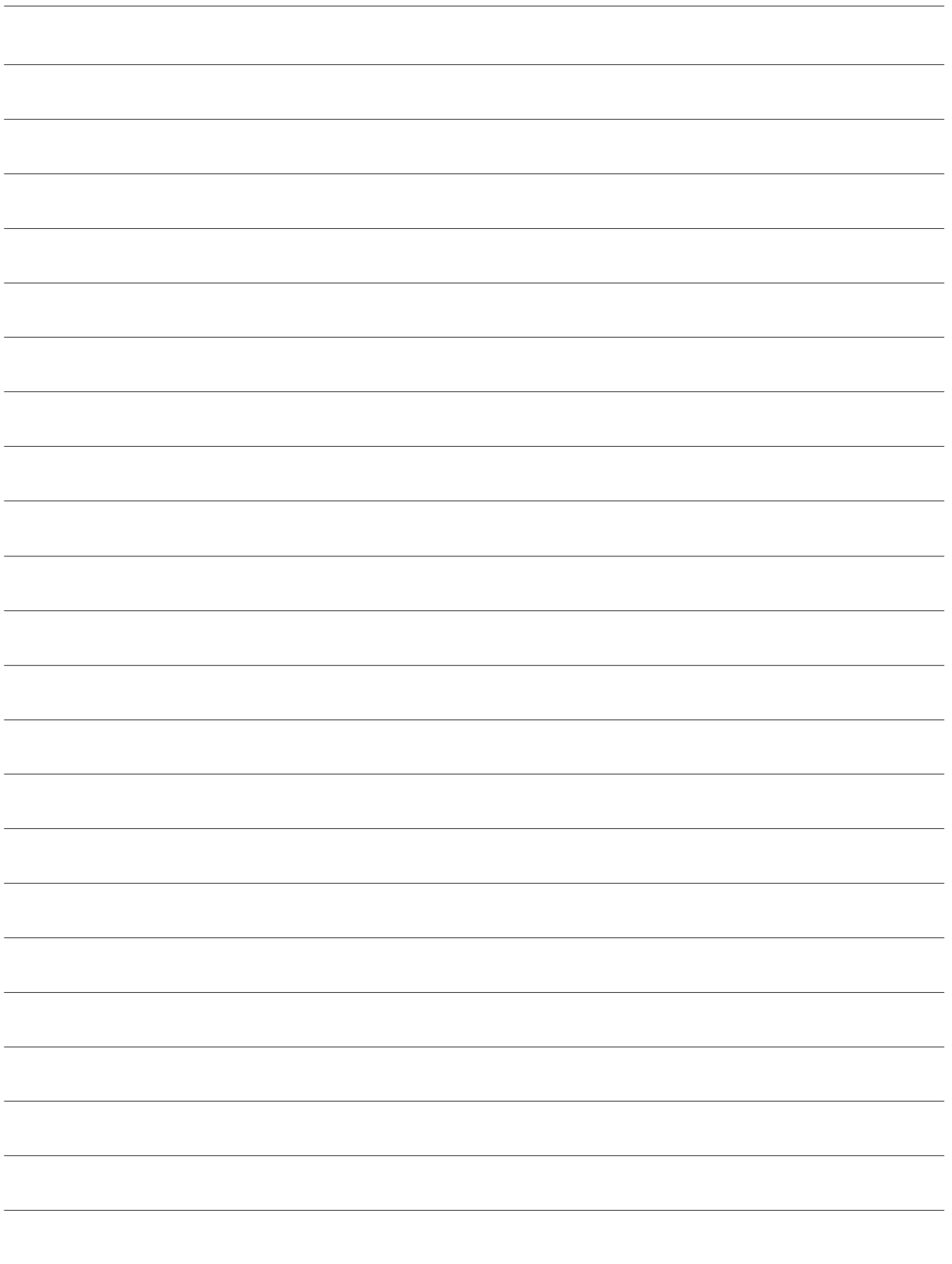
Francesco Marcelloni è professore ordinario di Sistemi di Elaborazione delle Informazioni presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa. Da più di 25 anni svolge ricerche su tematiche relative all'Intelligenza Artificiale, con l'ideazione di nuovi algoritmi di machine learning e federated learning che sono stati sperimentati in diversi ambiti applicativi. Recentemente, a testimonianza dell'innovatività della sua ricerca, ha ricevuto il 2021 IEEE TFS *Outstanding Paper Award* e il 2022 IEEE CIM *Outstanding Paper* da due delle più prestigiose riviste del suo settore. Ha pubblicato un libro e più di 250 lavori su riviste, atti di congressi e capitoli in libri internazionali.

Francesco Pistolesi è laureato in ingegneria informatica presso l'Università di Pisa, dove ha poi conseguito il dottorato di ricerca in ingegneria dell'informazione, è attualmente ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa. I suoi interessi di ricerca riguardano l'intelligenza artificiale e le applicazioni in ambito industriale, per l'ottimizzazione dei processi e il miglioramento della salute e sicurezza sul posto di lavoro. Su questi temi, ha pubblicato articoli su riviste scientifiche e conferenze internazionali. È *associate editor* della rivista internazionale *Journal of Intelligent Manufacturing*, edita da Springer. Attualmente è responsabile scientifico del progetto MEDEA per l'unità di ricerca dell'Università di Pisa. Il progetto è stato cofinanziato dall'Unione Europea per realizzare un *tool* che aiuti le protezioni civili a eseguire una valutazione multidimensionale del rischio in caso di terremoto, tramite intelligenza artificiale interpretabile.

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

Lucia Stelli, laureata in Scienze Biologiche, è stata docente di Matematica e Scienze nella Scuola secondaria di primo grado. Ha partecipato come formatrice a numerosi progetti per l'educazione matematico-scientifica. Fa parte del Gruppo di ricerca e sperimentazione in didattica della matematica presso l'Università di Pisa. È esperto didattico scientifico del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

[illegible]





ISSN 2784-8752

€ 11,00

