naturalmente
scienza

ottobre 2026
anno 7
numero 3
quadrimestrale

Direttore responsabile
Alessandra Borghini

Direzione scientifica
Vincenzo Terreni, Maria Turchetto

Comitato editoriale
Paola Bortolon, Maria Castelli, Raffaello Corsi, Sauro Donati, 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: il Pian di neve al Passo Adamello, foto di G. Andrea Castelli (agosto 2026).

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:	€ 13,00
abbonamento annuale privato (3 numeri) formato PDF:	€ 10,00
abbonamento istituzionale (3 numeri) formato PDF:	€ 15,00
abbonamento annuale privato (3 numeri) cartaceo:	€ 30,00
abbonamento istituzionale (3 numeri) cartaceo:	€ 40,00

Indirizzare i pagamenti a:
IT 21U0306914010100000001781
BIC/SWIFT: BCITITMM

Registrazione presso il Tribunale di Pisa n. 1/2021

© Copyright 2026
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)

editoriale

La foto di copertina mostra il ghiacciaio dell'Adamello, il più esteso ghiacciaio delle Alpi italiane, tenuto in osservazione da parecchi anni dai geologi dell'Università di Brescia. In base alle loro osservazioni, si prevede il suo scioglimento completo entro la fine di questo secolo. Il processo in corso dipende dell'aumento delle temperature e della sempre più scarsa precipitazione nevosa. Secondo i dati riportati dall'Università degli Studi di Brescia, dal 1995 la temperatura dell'aria è aumentata di 0,4 °C ogni dieci anni. La rottura del delicato equilibrio tra accumulo e fusione della massa glaciale è una trasformazione non reversibile. La riduzione della superficie del ghiaccio mette allo scoperto le rocce scure che assorbono il calore. Il permafrost che mantiene in sede le rocce si scioglie e aumenta la probabilità di crolli e frane.

Questi fenomeni sono studiati da tempo e nessuno studioso mette in discussione che la responsabilità di questi processi derivi dal surriscaldamento progressivo del Pianeta causato principalmente dalle attività umane con l'accumulo di gas serra nell'atmosfera.

Nel 2015 a Parigi, in occasione della COP21, quasi tutti i Paesi del mondo stilarono un trattato internazionale giuridicamente vincolante sui cambiamenti climatici, specificando anche gli obiettivi da raggiungere. Purtroppo con entrambe le presidenze Trump del 2016 e del 2024 gli USA si sono ritirati dall'accordo (lo hanno fatto due volte perché con la presidenza Biden del 2020 avevano di nuovo aderito). Il presidente Trump parla delle argomentazioni scientifiche sul riscaldamento globale come di una truffa e considera interesse strategico del proprio Paese svincolarsi da qualsiasi limitazione nell'uso delle fonti energetiche.

Gli altri Paesi continuano a rispettare quanto stabilito a Parigi. Nel 2014, la Cina, in preparazione dei negoziati di Parigi, ha stipulato l'accordo bilaterale Cina-USA tra il presidente americano Barack Obama e il presidente cinese Xi Jinping. Questo accordo prevedeva responsabilità comuni ma differenziate, alla luce delle differenti circostanze nazionali e delle rispettive storie economiche. Questo compromesso contribuì significativamente a creare le condizioni diplomatiche per l'accordo di Parigi del dicembre 2015 durante la COP21. Nel settembre 2020, la Cina ha annunciato l'obiettivo di raggiungere il picco delle emissioni di CO_2 prima del 2030 e la neutralità carbonica prima del 2060.

Nella situazione attuale, non solo gli USA non prendono in considerazioni gli accordi di Parigi, ma hanno avviato nuove attività belliche in diversi teatri e in particolare in Asia sudoccidentale. I conflitti armati hanno un impatto elevato e in continua crescita sulle emissioni globali di CO_2 e degli altri gas serra, ma questo impatto è spesso trascurato, con una sottovalutazione che contribuisce ad allontanare la speranza di chiudere le ostilità ricorrendo agli accordi piuttosto che ai missili.

SOMMARIO

IN PRIMO PIANO

Crisi climatica: cause, conseguenze, rimedi
di Paola Bortolon 5

Il Grande Termostato
di Fabio Fantini 14

RITRATTO DI FAMIGLIA

Leucospidae
di Marco Bondini 23

FOCUS

Foreste complesse e attivazione della pompa biotica
di Alessandro Bottacci 29

Una visita alla flora del Monte Pisano e alcune considerazioni sulla sua conservazione
di Valerio Lazzeri 34

Il Monte Pisano come sistema a elevata connettività ecologica
di Maurizio Baglioni 42

UNO SCATTO ALLA NATURA

Una foglia di salvia
di Sauro Donati 45

CONTRIBUTI

Impareremo mai?
di Riccardo Govoni 47

FARE SCUOLA

Chi ben comincia. Una riflessione sull'educazione linguistica nella scuola primaria
di Lucrezia Pedrali 51

Chi ben comincia. Un anno di matematica in classe prima
di Rita Di Ianni 56

Crisi climatica: cause, conseguenze, rimedi

Paola Bortolon

The article provides a multidisciplinary analysis of the current climate crisis, distinguishing between weather and climate to highlight how the long-term global warming trend, supported by scientific evidence such as the Keeling Curve, is of anthropogenic origin, linked to the energy, transport, and food system sectors. The study examines the severe consequences of various greenhouse gases and explores potential solutions ranging from energy efficiency and the use of renewable energy to regenerative agriculture, plant-based diets, and the reduction of consumption.
Key words: *Climate crisis, Greenhouse gases, Anthropogenic emission, Mitigation strategies*.

Premessa

La crisi climatica rappresenta una delle sfide globali più complesse e urgenti del nostro tempo. Affrontarla richiede una conoscenza scientifica rigorosa, ma anche la capacità di distinguere i dati dalle opinioni e le evidenze dalle interpretazioni non adeguatamente fondate. Nel dibattito pubblico e nei media, la percezione dei rischi può essere influenzata da informazioni incomplete o distorte, da bias cognitivi e dalla difficoltà di distinguere i fenomeni meteorologici di breve durata dalle tendenze climatiche osservabili su scale temporali molto più lunghe.

Il presente articolo propone un'analisi multidisciplinare del riscaldamento globale di origine antropica. Dopo aver chiarito la differenza tra clima e tempo meteorologico, vengono esaminate le principali evidenze relative all'aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, come quelle rappresentate dalla Curva di Keeling, e le principali sorgenti emissive nei diversi settori produttivi e alimentari. Successivamente vengono analizzate alcune delle principali conseguenze ambientali, economiche, sociali e sanitarie del riscaldamento globale, nonché le strategie di mitigazione disponibili e gli ostacoli culturali, economici, burocratici e tecnologici che ancora rallentano la transizione verso sistemi produttivi e stili di vita a minore impatto climatico. La crisi climatica, infatti, non è soltanto una questione ambientale: coinvolge il funzionamento dei sistemi economici e sociali, la distribuzione delle risorse, la salute, le disuguaglianze e la capacità delle società di prendere decisioni collettive sulla base delle conoscenze disponibili.



Clima e tempo meteorologico

Nel dibattito sul cambiamento climatico non è raro incontrare una certa confusione tra clima e tempo meteorologico. Da questa mancata distinzione derivano affermazioni quali: "Anche nel passato abbiamo avuto periodi con temperature elevate" oppure "Lo scorso aprile le giornate erano molto fredde ed è piovuto quasi sempre".

Il *tempo meteorologico o tempo atmosferico* indica il complesso delle condizioni dell'atmosfera terrestre (definite da parametri come temperatura, pressione atmosferica, umidità, nuvolosità, precipitazioni, visibilità e vento) e dai fenomeni metereologici associati (come ad es. pioggia, neve, grandine, ecc.) in un dato momento e in un dato luogo della superficie terrestre o in libera atmosfera in un periodo limitato, che può variare da alcune ore a qualche giorno.

Il *clima*, invece, descrive l'andamento medio e la variabilità delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una determinata regione nel lungo periodo. Convenzionalmente, per la descrizione del clima contemporaneo si utilizzano periodi di osservazione di almeno trent'anni; lo studio dei cambiamenti climatici del passato può invece estendersi a intervalli molto più lunghi.

La temperatura media globale costituisce uno dei principali indicatori dello stato del sistema climatico, poiché riflette il bilancio tra l'energia, fornita dal Sole, assorbita dal sistema Terra e quella che viene restituita allo spazio.

Le caratteristiche climatiche di una regione influenzano profondamente gli ecosistemi, la distribuzione della flora e della fauna e, di conseguenza, le numerose attività economiche e sociali delle popolazioni che vi abitano.

L'affermazione "La scorsa settimana faceva molto freddo" si riferisce quindi al tempo meteorologico, mentre "Le Isole Canarie sono note per essere calde e secche durante l'estate" fa riferimento al clima.

Una non chiara distinzione tra questi due concetti può portare a utilizzare un singolo episodio meteorologico, come un'ondata di freddo in una specifica regione, quale presunta confutazione del riscaldamento globale.

Durante un periodo climatico vi saranno sempre alterazioni metereologiche con variazioni nell'emissione dei gas serra, come evidenziabile nella curva di Keeling.

La curva (fig. 1) mostra l'aumento di anidride carbonica nell'atmosfera terrestre, sulla base di misurazioni continue effettuate dal 1958 ad oggi presso l'Osservatorio di Mauna Loa, sull'isola delle Hawaii, luogo di misurazione scelto dall'accademico statunitense Charles David Keeling perché lontano da piante, turbolenze atmosferiche e emissioni di motori termici. Sebbene il trend principale mostri un aumento costante dovuto alle attività umane, la curva presenta un caratteristico andamento "a dente di sega" causato dalle variazioni stagionali, dovute principalmente al metabolismo della biosfera terrestre, in particolare nell'emisfero settentrionale, dove si concentra la maggior parte delle terre emerse e della vegetazione.

Durante la primavera e l'estate nell'emisfero settentrionale aumenta l'attività fotosintetica e la vegetazione sottrae all'atmosfera grandi quantità di CO_2, determinando una diminuzione stagionale della sua concentrazione. Nei mesi autunnali e invernali, invece, la fotosintesi diminuisce mentre la respirazione e la decomposizione della ma-

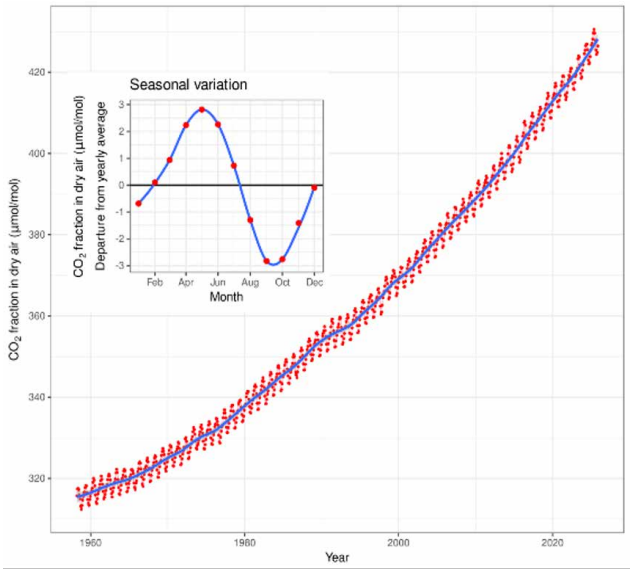


Fig. 1. Curva di Keeling.

teria organica continuano a immettere anidride carbonica nell'atmosfera, determinando una nuova crescita della concentrazione. Al di là di queste oscillazioni stagionali, il dato più significativo è costituito dal costante incremento della concentrazione di CO_2 nel lungo periodo. Ogni ciclo annuale si colloca generalmente su valori superiori rispetto agli anni precedenti, a dimostrazione del progressivo accumulo di carbonio nell'atmosfera. Le emissioni prodotte dalle attività umane superano la capacità complessiva di assorbimento dei principali pozzi naturali di carbonio, costituiti dalla biosfera e dagli oceani.

I gas serra e la loro provenienza

I gas serra sono componenti dell'atmosfera in grado di assorbire parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre e di riemetterla in tutte le direzioni, contribuendo al mantenimento di una temperatura media compatibile con la vita come la conosciamo.

L'effetto serra naturale è pertanto un fenomeno essenziale per il sistema climatico terrestre. In sua assenza, la temperatura media di equilibrio radiativo della Terra sarebbe di circa −18 °C anziché dei circa 15 °C attuali. Il problema non è quindi l'esistenza dell'effetto serra, ma l'aumento della concentrazione di alcuni gas nell'atmosfera dovuto in larga misura alle attività umane, che altera il bilancio energetico della Terra.

Parlando di gas serra la maggior parte degli individui fa riferimento all'anidride carbonica, con scarsa consapevolezza dei molti altri gas che hanno effetti impattanti, sia per il loro Potenziale di Riscaldamento Globale o GWP (*Global Warming Potential*) più elevato, sia per le possibili interazioni con varie strutture molecolari ambientali. Il GWP misura il contributo al riscaldamento globale di una determinata quantità di un gas serra rispetto alla stessa quantità di CO_2, assunta come riferimento con valore pari a 1. Il calcolo viene effettuato su uno specifico orizzonte temporale; per questo motivo, uno stesso gas può avere valori di GWP differenti a seconda che si consideri un periodo di 20, 100 o 500 anni. Se, ad esempio, un gas presenta un GWP pari a 28 su un periodo di cento anni, significa che, secondo quella specifica metodologia di confronto, l'emissione di una tonnellata di quel gas ha un effetto cumulativo sul riscaldamento paragonabile a quello prodotto da circa ventotto tonnellate di CO_2 nello stesso intervallo temporale.

Altro parametro da considerare nella valutazione dell'effetto di un gas sul riscaldamento dell'atmosfera è il *tempo di residenza* atmosferica (o vita media del gas), per quanto tempo cioè il gas rimane nell'atmosfera prima di essere decomposto da reazioni chimiche o rimosso (ad esempio dalla pioggia o dalla fotosintesi) (fig. 2).

Per attuare efficaci strategie di mitigazione è importante inoltre individuare le principali sorgenti emissive, da dove, cioè, provengono i vari gas ad effetto serra.

Gas serra	Formula chimica	GWP100	Permanenza atmosferica (anni)	Concentrazione atmosferica globale 2024 (ppm)
Anidride carbonica	CO_2	1,0	secoli-millenni	422,8
Metano	CH_4	27,0-29,8	11,8	1,9297
Protossido di azoto	N_2O	273,0	109	0,3379
Esafloruro di zolfo	SF_6	25.200,0	~1.000	$1{,}18 \cdot 10^{-5}$
HFC-134A	$C_2H_2F_4$	1.530,0	14	$1{,}347 \cdot 10^{-4}$
PFC-116	C_2F_6	12.410,0	~10.000	$5{,}3 \cdot 10^{-6}$
HFC-23 (trifluorometano)	CHF_3	14.600,0	228	$37{,}3 \cdot 10^{-5}$

Fig. 2. Principali gas serra: potenziale di riscaldamento globale (GWP100), permanenza atmosferica e concentrazioni globali al 2024.

L'anidride carbonica è immessa nell'atmosfera sia per cause naturali (respirazione, evaporazione degli oceani, decomposizione della materia, attività vulcanica) sia in seguito a processi di combustione di risorse fossili (carbone, petrolio, gas naturale) utilizzate per il riscaldamento domestico, la produzione di cemento, il settore agricolo, l'allevamento.

Mentre le emissioni di CO_2 del primo tipo (cause naturali) sono in genere largamente bilanciate dagli assorbimenti naturali, il problema riguarda le emissioni antropiche, per le quali sono necessari interventi tempestivi in diversi settori. Tra i più importanti rientrano: la progressiva sostituzione dei combustibili fossili con fonti energetiche a basse emissioni, l'aumento dell'efficienza energetica, l'isolamento termico degli edifici, il potenziamento del trasporto pubblico e la riduzione delle forme di consumo più intensive dal punto di vista energetico e materiale.

Le strategie di mitigazione possono essere raggruppate in tre grandi ambiti: trasformazione dei sistemi energetici; trasformazione dei sistemi di mobilità; riduzione e maggiore efficienza nell'uso dei materiali e dei beni di consumo.

Questo orientamento è in linea anche con la Direttiva europea 2009/28/CE, inserita nel più ampio quadro degli obiettivi europei 20-20-20, che fissava per il 2020 tre principali traguardi: la riduzione delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, l'aumento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e il miglioramento dell'efficienza energetica.

Per quanto riguarda quest'ultimo obiettivo, sono state evidenziate alcune possibili criticità: l'aumento dell'efficienza energetica, riducendo il costo dell'utilizzo di energia, può infatti favorire un incremento dei consumi, dando luogo al cosiddetto "effetto rimbalzo" (*rebound effect*). L'efficienza tecnologica dovrebbe pertanto essere accompagnata da una maggiore attenzione alla quantità complessiva di energia e di risorse utilizzate. Ridurre gli acquisti non necessari, prolungare la durata dei prodotti, favorirne la riparazione e limitarne la sostituzione prematura possono contribuire a diminuire l'impatto ambientale senza necessariamente comportare una riduzione della qualità della vita. Alcuni studi condotti da Vaclav Smil[1], infatti, evidenziano che, raggiunta una certa soglia di benessere, l'aumento ulteriore dell'energia consumata non determina vantaggi sostanziali.

Altro gas serra è il *metano* la cui molecola (CH_4) è estremamente reattiva e tende ad assorbire molta più energia dell'anidride carbonica con un GWP per il metano biogenico a 100 anni di 29,8[2]. Notevolmente minore è invece la sua durata in atmosfera, che rende la riduzione delle emissioni di metano particolarmente importante per limitare il riscaldamento nel breve periodo. Il metano si forma naturalmente attraverso diversi processi. È prodotto, per esempio, dalla decomposizione anaerobica della materia organica nelle zone umide, nelle discariche, nelle risaie e negli effluenti zootecnici, nonché durante i processi digestivi dei ruminanti. Nel rumine, una complessa comunità di microrganismi degrada la materia organica producendo, tra gli altri composti, idrogeno e anidride carbonica, che vengono utilizzati dagli archei metanogeni per la sintesi di metano. Il metano è inoltre presente nei giacimenti di carbone (*coal-bed methane*) e può formarsi attraverso processi sia biologici sia termogenici. Secondo le stime disponibili, il settore zootecnico costituisce una delle principali sorgenti antropiche di metano. Ne deriva l'importanza di intervenire attraverso una migliore gestione dei sistemi di allevamento, la riduzione delle emissioni associate alla produzione alimentare, il contenimento degli sprechi e, nei contesti caratterizzati da consumi molto ele-

1. Smil V, *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*, MIT Press., 2003; Smil V. *Energy and Civilization: A History*, MIT Press, 2017.

2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. 2021. Dati integrati nei successivi report IPCC.

vati di prodotti di origine animale, una maggiore presenza nella dieta di alimenti vegetali.

Il *protossido di azoto* (N_2O), noto anche come gas esilarante, è un gas serra molto potente (300 volte più della CO_2) e duraturo (attorno ai 120 anni). Colpevole della sua emissione è l'agricoltura intensiva e in particolare l'utilizzo dei fertilizzanti (urea, nitrati), che incrementano l'azoto disponibile nel terreno, successivamente trasformato dai batteri in protossido d'azoto. Viene anche prodotto da letame e liquami, nell'industria chimica per la produzione, ad esempio, di nylon, e nella combustione di combustibili fossili.

Chad Frischmann, co-autore del progetto Drawdown, ideato e realizzato da Paul Hawken[3] e dedicato alla individuazione e realizzazione di strumenti e di iniziative volte alla riduzione dei gas serra, in un intervento dal titolo *100 solutions to reverse global warming*[4] ha mostrato, tra i diversi settori responsabili dell'emissione di CO_2eq, i 20 sui quali è necessario agire tempestivamente, proprio perché maggiormente implicati (fig. 3).

Dall'elenco si evince che solo 5 dei 20 settori indicati riguardano l'elettricità, mentre 8 si riferiscono al sistema alimentare. L'impatto climatico legato al cibo è correlato alla sua produzione, all'acquisto, alle modalità di utilizzazione e di consumo. Riducendo, ad esempio, gli sprechi di cibo si potrebbe avere una riduzione di circa 70 GT di CO_2; mantenendo e potenziando le colture arboree tropicali di base si potrebbe ridurre l'emissione di CO_2 di 20,19 GT. Agendo su tutti i settori della filiera potrebbero venir rimosse dall'atmosfera 262,06 GT di CO_2.

In concreto le strategie di intervento comprendono, tra le altre: il miglioramento delle pratiche agricole e la tutela della fertilità dei suoli; la riduzione della deforestazione; la protezione e il ripristino degli ecosistemi naturali; la diminuzione degli sprechi alimentari; una maggiore diffusione di modelli alimentari con un minore impatto ambientale; il miglioramento della gestione dei reflui e dei fertilizzanti.

Va precisato tuttavia che una dieta vegetariana non può essere sempre considerata priva di impatti ambientali, i suoi effetti dipendono anche



Fig. 3. 100 soluzioni per invertire il riscaldamento globale.

3. Hawken P, *Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming*, Penguin Books. Hawken, 2017.

4. https://www.ted.com/talks/chad_frischmann_100_solutions_to_reverse_global_warming

dalle modalità di produzione, dall'uso del suolo, dal consumo di acqua, dagli input agricoli e dall'eventuale deforestazione associata alle coltivazioni. Un esempio emblematico è quello della soia, legume diffuso in tutto il mondo per la facilità e rapidità di coltivazione e per le buone caratteristiche nutritive, dovute al contenuto di proteine ricche di amminoacidi essenziali e di grassi mono e polinsaturi. La crescente domanda globale, che spazia dall'industria alimentare a quella chimica (vernici, bioplastiche) fino alla produzione di mangimi, ha contribuito in alcune regioni alla deforestazione. Il caso mostra come l'impatto ambientale di un alimento non possa essere valutato soltanto sulla base della sua origine vegetale o animale. Va considerata l'intera filiera produttiva e, in particolare, le modalità con cui viene utilizzato il territorio.

Conseguenze del riscaldamento globale

Le conseguenze del riscaldamento globale sono tra loro correlate, un cambiamento del sistema climatico ne determina in successione molti altri, con ripercussioni che interessano tre principali dimensioni: quella naturale, quella economica e quella sociale.

È ormai ben documentato che l'aumento della temperatura globale provoca la perdita di massa dei ghiacciai e delle calotte glaciali, contribuendo all'innalzamento del livello medio globale del mare e aumentando il rischio di inondazioni ed erosione delle aree costiere. A questo si aggiunge la riduzione dell'albedo, che costituisce un importante meccanismo di retroazione del sistema climatico.

L'albedo è la frazione della radiazione solare incidente che una superficie riflette verso lo spazio e dipende dalle caratteristiche della superficie, tra cui il colore e la capacità riflettente. Le superfici ricoperte da neve e ghiaccio presentano un'albedo elevata e riflettono una parte consistente della radiazione solare. Quando neve e ghiaccio si riducono, vengono esposte superfici più scure, come il terreno o l'acqua del mare, che assorbono una maggiore quantità di radiazione solare. Ne consegue un aumento dell'energia assorbita dal sistema climatico, che contribuisce a un ulteriore riscaldamento e quindi a una retroazione positiva (o auto-rinforzante) del cambiamento climatico.

Il riscaldamento degli oceani, oltre al maggior tempo necessario per il loro raffreddamento e per la formazione di nuovo ghiaccio, modificherà gli ecosistemi, con specie marine migranti dalle fasce latitudinali più basse verso quelle più alte nei due emisferi. L'eccesso di CO_2 assorbito dall'acqua inoltre, abbassando il pH, danneggia le barriere coralline e le forme animali provviste di gusci e conchiglie, minacciando la sopravvivenza di milioni di specie. Situazione analoga si verifica per la fauna e la flora terrestre, dove già oggi si osservano piante tipiche delle zone temperate in habitat climatici tradizionalmente di conifere e aghifoglie. Ai problemi economici legati al calo della produttività sia ittica che agricola, con conseguenti carenze alimentari, carestie, aumento dei prezzi dei viveri e riduzione di posti di lavoro, si associano problemi sanitari.

Il National Institutes of Health (NIH), agenzia governativa degli Stati Uniti responsabile della ricerca biomedica e della salute pubblica, attraverso l'iniziativa transdisciplinare *NIH Climate Change and Health Initiativ*e, monitora e registra come il cambiamento climatico colpisca direttamente e indirettamente la salute umana. Le ricerche e gli studi, che si concentrano su qualità dell'aria e dell'acqua, eventi estremi, impatto sulla biodiversità, cibo e nutrizione, malattie mentali, hanno riportato una estesa e variegata quantità di danni alla salute (fig. 4).

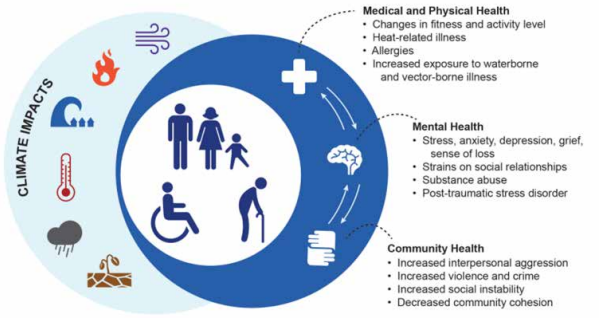


Fig. 4. L'impatto del cambiamento climatico sulla salute fisica, mentale e delle comunità.

Uno studio pubblicato nel 2025[5], basato su oltre 28 milioni di ricoveri ospedalieri in California tra il 2011 e il 2020, ha rilevato che l'interazione tra esposizione al fumo degli incendi boschivi e temperature estreme era associata a una quota attribuibile di patologie respiratorie (8,0%), patologie cardiovascolari (5,5%), patologie renali (6,2%).
Gli effetti erano ancora più marcati in alcuni gruppi di popolazione: tra le persone di colore, la quota raggiungeva il 19,2% per le patologie respiratorie e il 15,7% per quelle cardiovascolari.
La presenza di vettori di trasmissione, come zanzare e zecche, in aree in cui erano precedentemente assenti o poco diffusi, insieme alle modificazioni delle condizioni climatiche favorevoli alla loro sopravvivenza e proliferazione, ha contribuito all'espansione geografica di diverse malattie trasmesse da vettori. Tra queste vi sono la malattia di Lyme, trasmessa dalle zecche: *Ixodes ricinus* in Europa e *Ixodes scapularis* in America[6], e la febbre West Nile[7], la cui diffusione può essere favorita, in alcune aree, dall'aumento delle temperature e dal prolungamento della stagione favorevole alla presenza e all'attività dei vettori.
Anche gli effetti sulla salute mentale meritano particolare attenzione. Eventi estremi, perdita dell'abitazione o dei mezzi di sussistenza, preoccupazione per il futuro e condizioni ambientali sempre più difficili possono contribuire ad aumentare stress e disagio psicologico, soprattutto nelle popolazioni maggiormente esposte.

La componente antropica del riscaldamento globale

Le evidenze relative al ruolo delle attività umane nel riscaldamento globale sono oggi sostenute da un'ampia e convergente letteratura scientifica. L'aumento della concentrazione atmosferica dei gas serra, la combustione dei combustibili fossili, le modificazioni dell'uso del suolo e le altre attività antropiche hanno alterato il bilancio energetico del sistema climatico.
Nel dibattito pubblico persistono tuttavia posizioni che negano o minimizzano il ruolo delle attività umane nel riscaldamento globale. Tali posizioni possono essere sostenute anche da singoli studiosi, ma non rappresentano il consenso prevalente espresso dalla letteratura scientifica specialistica.
Nello spazio digitale, inoltre, opinioni prive di un adeguato supporto empirico possono diffondersi rapidamente e raggiungere un pubblico molto ampio. La ripetizione di informazioni inesatte, soprattutto all'interno di gruppi caratterizzati da una forte omogeneità di opinioni, può contribuire alla formazione di vere e proprie *camere d'eco*. Questi ambienti informativi possono rafforzare il bias di conferma, ossia la tendenza a ricercare, selezionare e ricordare preferibilmente le informazioni coerenti con le proprie convinzioni.
Un altro elemento che può favorire lo scetticismo è la percezione errata dell'esistenza di uno scarso consenso tra gli scienziati sulle cause del riscaldamento globale, consenso che è in realtà ben oltre il 90% e addirittura del 99%[8], ma che l'opinione della gente comune reputa solo del 55%[9] (fig. 5, alla pagina seguente).
Tutto ciò concorre a ritardare la messa in atto di azioni concrete di contrasto alla situazione sancite dall'*European Green Deal* (Patto verde europeo), che comportano sia l'adozione di comportamenti virtuosi e cambiamenti nello stile di vita sia politiche energetiche e incentivi alle in-

5. Kang H *et al., Joint effects of wildfire smoke and extreme heat on hospitalizations in California, 2011-2020*, Environmental Health Perspectives, 2025.

6. IPCC 2022, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2022; European Centre for Disease Prevention and Control, *Ixodes ricinus - current known distribution*, Stockholm: ECDC. 2026.

7. Lorenzon A, Granata M, Verzelloni P *et al*., *Effect of Climate Change on West Nile Virus Transmission in Italy: A Systematic Review*, Public Health Reviews, 46, 1607444. 2025. https://doi.org/10.3389/phrs.2025.1607444

8. Lynas M *et al.*, *Greater than 99% Consensus on Human Caused Climate Change in the Peer-Reviewed Scientific Literature*, Environmental Research Letters, vol. 16, n. 11, 114005, 2021. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2966

9. Cook J, Nuccitelli D, Green SA *et al*., *Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature*, Environmental Research Letters, vol. 8, 2, art. 024024, 2013.

dustrie che progettano nuovi impianti affinché le varie direttive che si sono succedute siano concretamente attuate in tempi brevi e addirittura brevissimi, come il *carbon budget* impone.
Il carbon budget è la quantità totale netta di anidride carbonica che l'umanità può ancora emettere per mantenere una determinata probabilità di limitare il riscaldamento globale entro le soglie di 1,5 °C o 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, come previsto dall'Accordo di Parigi. Secondo le più recenti stime del Global Carbon Budget, all'inizio del 2026 il bilancio globale residuo di carbonio compatibile con il limite di 1,5 °C, con una probabilità del 50% di non superare tale soglia, è di circa 170 $GtCO_2$, una quantità equivalente a circa quattro anni delle attuali emissioni globali di CO_2. Una volta esaurito questo bilancio, per impedire un ulteriore aumento della temperatura globale le emissioni nette di CO_2 dovranno raggiungere lo zero netto. Ciò significa che le eventuali emissioni residue dovranno essere compensate da un equivalente assorbimento di anidride carbonica, attraverso, ad esempio, il ripristino degli ecosistemi, la riforestazione o tecnologie di cattura e rimozione della CO_2 dall'atmosfera.
In assenza di una rapida riduzione delle emissioni, la temperatura continuerebbe ad aumentare, aggravando gli impatti climatici e innescando o intensificando processi di retroazione (feedback)



Fig. 5. Rappresentazione dello scostamento tra percezione pubblica e realtà.

capaci di amplificare ulteriormente il riscaldamento. Le conseguenze ricadrebbero in misura particolarmente pesante sulle nuove generazioni e sulle popolazioni dei Paesi a basso reddito.

Interventi di contenimento di difficile realizzazione

Arginare la situazione non è cosa facile per varie criticità politiche, normative e culturali, di cui le COP (Conferenze delle parti) hanno mostrato i limiti e le difficoltà di dialogo.
La realizzazione di impianti rinnovabili è poi ostacolata in molte regioni da iter autorizzativi piuttosto lunghi, con un media di 6-7 anni al fine del conseguimento di un'autorizzazione completa. Si aggiungono tempi non sempre brevi per la realizzazione degli impianti, opposizioni e timori da parte delle comunità locali; una resistenza nota come NIMBY (*Not In My Back Yard*, Non nel mio giardino) alimentata dal timore di un'alterazione del paesaggio, un danno per la salute, la perdita del valore immobiliare. Queste resistenze sono alimentate anche dalla percezione che lo sforzo individuale possa incidere solo marginalmente rispetto alle decisioni politiche e agli interventi strutturali adottati ai diversi livelli di governo.
A ciò si aggiungono lo scetticismo e le perplessità riguardo ai reali benefici e alla convenienza economica delle tecnologie a basso impatto ambientale. Nel caso delle pompe di calore, ad esempio, i vantaggi possono essere messi in secondo piano a causa dell'elevato investimento iniziale e dei possibili limiti legati alle caratteristiche dell'edificio. In zone particolarmente fredde o umide, infatti, l'efficienza del sistema può richiedere adeguati interventi di isolamento termico, che comportano ulteriori costi. Per una famiglia con risorse economiche limitate, e in particolare per le persone anziane, l'investimento iniziale e i tempi necessari per recuperarne il costo possono quindi rappresentare un significativo ostacolo all'adozione.
Considerazioni analoghe riguardano la mobilità elettrica, la cui diffusione è ancora condizionata da

diversi fattori: prezzi di acquisto generalmente superiori rispetto ai modelli equivalenti con motore a combustione interna, una rete di ricarica non ancora omogeneamente distribuita e, in alcune aree e nei periodi di maggiore affluenza, potenzialmente insufficiente, tempi di ricarica superiori a quelli necessari per il rifornimento dei veicoli tradizionali e l'incertezza legata alla rapida evoluzione delle tecnologie delle batterie. Quest'ultimo aspetto può alimentare il timore di una precoce obsolescenza dei veicoli attualmente disponibili, anche in relazione allo sviluppo di batterie di nuova generazione, tra cui quelle allo stato solido e quelle al sodio. Sullo sfondo rimangono le tensioni geopolitiche e le preoccupazioni dell'industria europea, che teme di perdere quote di mercato a favore dei produttori asiatici (Cina) e paventa gravi ricadute occupazionali legate alla dismissione dei motori tradizionali.

Conclusioni

In definitiva, la crisi climatica non rappresenta soltanto un'emergenza ambientale, ma una sfida complessa che coinvolge l'intero modello economico, sociale e culturale della nostra società. Se da un lato la scienza offre evidenze ormai solide e convergenti sull'origine prevalentemente antropica del riscaldamento globale e indica con chiarezza le principali priorità d'azione, a partire dalla trasformazione dei sistemi energetici e della filiera agroalimentare, dall'altro il percorso verso la neutralità climatica è ancora ostacolato da resistenze politiche e burocratiche, disinformazione e ritardi strutturali. Ridurre il divario tra la percezione pubblica del problema e l'ampio consenso della comunità scientifica, nel rispetto del sempre più limitato bilancio di carbonio residuo, richiede un deciso e rapido cambio di passo.

Il contrasto al cambiamento climatico richiede una governance globale equa ed efficace, capace di integrare decisioni politiche lungimiranti, trasformazioni strutturali e comportamenti individuali consapevoli. Solo attraverso la responsabilità condivisa tra istituzioni, imprese e cittadini sarà possibile ridurre i rischi climatici e tutelare la salute, l'economia e il futuro delle prossime generazioni. ●

Paolo Giordano
Tasmania
Einaudi 2024

"Gli ho chiesto a che tipo di mondo avremmo dovuto abituarci… Un mondo… dove da una parte si muore di sete e dall'altra si annega.
Dove acquisterebbe un terreno, lei? Per salvarsi, intendo.
Io non farei mai una cosa del genere.
Ma se proprio dovesse? In caso di apocalisse…
Se fossi costretto a salvarmi, sceglierei la Tasmania… È abbastanza a sud per sottrarsi alle temperature eccessive. Ha buone riserve di acqua dolce, si trova in uno stato democratico e non ospita predatori per l'uomo. Non è troppo piccola ma è comunque un'isola, quindi facile da difendere. Perché ci sarà da difendersi, mi creda".

Questo breve stralcio introduce alcuni fra i più scottanti temi sottesi alla narrazione che sembrerebbe autobiografica, dato che il protagonista senza nome rispecchia l'autore per l'età, la formazione da fisico e il lavoro di scrittore: intorno a lui un mondo di disuguaglianze, di scelte personali, sociali e politiche sospese e rimandate, di emergenze, di pericoli incombenti sull'intreccio delle nostre vite, in particolare dei più giovani che, più di tutti, desiderano e temono il futuro che stiamo costruendo adesso.

È inquietante nella trama del romanzo la contiguità fra le vicende drammatiche della cronaca, dal Bataclan alle innumerevoli stragi terroristiche nelle grandi città d'Europa e le vite dei diversi personaggi intenti allo svolgersi delle loro giornate. Come se un pericolo fosse imminente, ovunque e in ogni momento. Ad aggiungersi all'incertezza dei fenomeni naturali innescati dalle nostre scelte nella gestione dell'ambiente.

Paolo Giordano sa ben tratteggiare il disagio creato dalla provvisorietà, dalla paura e dal senso di impotenza e smarrimento che accompagnano la lettura, come uno sfondo. Direi che è questo il filo conduttore del libro, che si legge non senza angoscia, mettendo a confronto i nostri anni giovanili con quelli attuali, con il pensiero rivolto ai più giovani – figli, nipoti, alunni – dei quali si impara un po' a capire la fatica delle scelte personali. L'autore non prospetta soluzioni ai problemi ambientali e sociali. Lascia soltanto intravedere una via d'uscita per ciascuno nella possibilità di contare sulla fiducia di qualcuno che, come la moglie Lorenza, non ci perde di vista e si prende cura di noi, pur lasciandoci liberi.

Maria Castelli

Il Grande Termostato

Fabio Fantini

The Earth's climate is regulated by a complex interaction between solar energy, the atmosphere and the carbon cycle. Comparing the rocky bodies of the Solar System shows how strongly atmospheric composition can affect surface temperature, with Venus providing an extreme example of the greenhouse effect. Earth is exceptional because most of its oxidized carbon is stored in rocks rather than in the atmosphere. Over geological timescales, the slow carbon cycle transfers carbon among the atmosphere, oceans and geological reservoirs through weathering, sedimentation, subduction and volcanic degassing, providing a long-term climatic feedback. The faster biological cycle exchanges much larger amounts of carbon on timescales ranging from years to millennia, but is normally close to equilibrium. The evolution of terrestrial life, particularly the expansion of plants, transferred significant amounts of organic carbon into long-lived geological reservoirs and contributed to climate regulation. Human combustion of fossil fuels now rapidly transfers carbon back from the geological to the active cycle, disrupting this balance. Restoring the geological equilibrium will require far longer than a human lifetime.
Key words: *Carbon cycle, Climate regulation, Atmospheric CO_2, Heart system.*

Capita che una produzione artistica, in particolare letteraria o cinematografica, incontri un successo tale da indurre l'autore o gli autori a idearne di nuove che proseguono nello stesso solco narrativo. Nell'Ottocento Alexandre Dumas sfruttò il successo del romanzo *I tre moschettieri* con due successive opere che avrebbero completato il ciclo dei moschettieri. Con il linguaggio odierno, diremmo che *Vent'anni dopo* e *Il visconte di Bragelonne* costituirono il *sequel* del romanzo iniziale del ciclo. Attualmente la produzione letteraria e quella filmica nell'epoca del consumo di massa non esitano a imitare la strategia di Dumas per replicare il successo di un'opera che abbia incontrato i favori del pubblico. Di più: poiché, sequel dopo sequel, ci si approssima sempre più a esaurire la gamma combinatoria degli eventi plausibili, con intuito geniale si è iniziato a ricorrere ai *prequel*, che anziché proseguire nel tempo tornano indietro per proporre eventi precedenti a quelli già narrati e che ne costituiscono le premesse. Queste righe, che forse vi accingete pazientemente a leggere, sono il *prequel* della discussione di grande attualità con oggetto il catastrofico riscaldamento globale che stiamo sperimentando. Una sterminata pubblicistica accademica e divulgativa tenta da decenni di fare entrare nella testa delle persone e, se possibile, anche di qualche governante poche semplici



idee concernenti i fenomeni fisici e chimici alla base delle variazioni climatiche. L'inseguimento insensato del tornaconto personale immediato, rafforzato dal timore verso il cambiamento, sembra ancora prevalere sulla riflessione razionale circa costi e benefici delle nostre azioni. Dubito che questo articolo possa cambiare l'atteggiamento di coloro che non vogliono neppure sentire parlare di adeguamento dello stile di vita all'esigenza di mitigare le variazioni climatiche. E tuttavia il tentativo di inquadrare la situazione attuale in un contesto temporale più ampio, che si apre non su secoli e neanche su milioni di anni, ma su miliardi di anni, giù[1] fino all'Archeano, potrebbe stimolare un'utile riflessione sulla globalità dei sistemi in cui siamo inseriti e spingere a considerare con maggiore senso della misura il ruolo della nostra specie.

Irradianza sulla superficie dei principali corpi rocciosi

Intorno al Sole orbitano cinque corpi rocciosi principali. Due di questi, Terra e Luna, formano un sistema biplanetario[2]. Gli altri tre sono i ben noti Mercurio, Venere e Marte. Tutti questi corpi rocciosi sono vicini alla condizione di equilibrio radiativo[3], hanno cioè un bilancio energetico stazionario nel quale l'energia assorbita è, in media, circa uguale a quella emessa[4]. La condizione di equilibrio radiativo comporta prevedibili differenze nelle temperature superficiali di corpi che si trovano a diverse distanze dalla fonte dell'irraggiamento e ricevono pertanto quantità diverse di energia per unità di superficie. Alcuni corpi mostrano, però, uno scostamento della temperatura superficiale dalla temperatura di equilibrio radiativo teoricamente prevista, come compare nella tabella 1[5].

Corpo celeste	distanza dal Sole (UA)	costante solare (W/m^2)	albedo	energia media assorbita (W/m^2)	energia media riemessa (W/m^2)	temperatura superficiale media (K)	temperatura di equilibrio radiativo (K)	pressione atmosferica in superficie (kPa)
Mercurio	0,39	9120	0,09	2070	2070	440	440	$(5 \cdot 10^{-13})$
Venere	0,72	2610	0,75	160	160	735	230	$9{,}3 \cdot 10^{3}$
Terra	1	1361	0,31	239	239	288	255	$1{,}0 \cdot 10^{2}$
Luna	1	1361	0,11	303	303	270	270	$(5 \cdot 10^{-13})$
Marte	1,52	586	0,25	110	110	215	210	$6{,}4 \cdot 10^{-1}$

Tabella 1

1. L'uso dell'avverbio "giù" va inteso come licenza arbitraria, ispirata dalla Scala Cronostratigrafica Internazionale.

2. "Adesso ci tocca rinunciare anche al Satellite, i soliti eccessi della politica woke!", si lamenterà qualcuno. Non si tratta, però, di rivalutare i diritti di un corpo celeste più piccolo, oppresso da una visione planetocentrica, ma di prendere atto di dati oggettivi, per esempio che il Sole esercita su Luna un'attrazione gravitazionale circa doppia di quella esercitata da Terra.

3. In un corpo in equilibrio radiativo il flusso netto di energia scambiata per radiazione è nullo, cioè l'energia emessa è uguale a quella assorbita. Questa condizione si ottiene quando la superficie del corpo raggiunge una temperatura capace di assicurare una potenza radiativa pari alla potenza assorbita. Le lunghezze d'onda di picco dell'energia incidente e di quella riemessa sono generalmente differenti, perché dipendono dalla temperatura del corpo emittente secondo la relazione descritta dalla legge di Wien.

4. Nel bilancio radiativo dei cinque corpi rocciosi andrebbe inserito anche il contributo del flusso di calore che continua a liberarsi dal loro interno, dovuto in parte al calore immagazzinato al momento della loro formazione e in parte, in genere quasi uguale, al decadimento degli elementi radioattivi, presenti in particolare nelle rocce crostali. Questo flusso è, però, molto piccolo se paragonato a quello solare, tanto da non modificare i valori indicati in tabella, almeno per il numero di cifre significative considerate. La nostra specie ha immagazzinato in forma potenziale parte di questa energia nelle armi nucleari (una sorta di appropriazione indebita dell'energia geotermica futura). In totale l'energia potenziale immagazzinata nelle testate nucleari corrisponde a un paio di minuti scarsi di irradiazione solare sull'intera superficie del pianeta e a circa 5 giorni di consumo energetico globale da parte dell'umanità. E verrebbe liberata in pochi secondi in aree assai circoscritte.

5. I dati presentati in tabella provengono, a volte con lieve arrotondamento, da https://science.nasa.gov/solar-system/

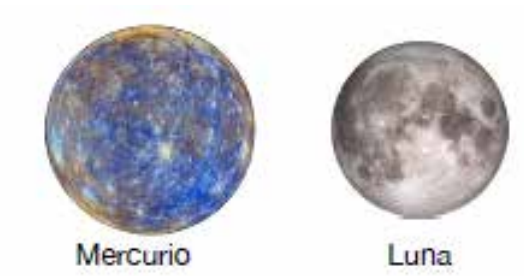
La temperatura superficiale media descrive lo stato termico medio della superficie fisica del corpo. La temperatura di equilibrio radiativo, invece, è una temperatura efficace, cioè quella di un corpo nero che emetterebbe nello spazio lo stesso flusso radiativo medio che il corpo assorbe dal Sole. I tre corpi dotati di atmosfera hanno temperatura superficiale maggiore della temperatura di equilibrio, anche se in diversa misura. Si tratta di un fenomeno causato dall'effetto serra[6] dovuto ad alcuni gas atmosferici.

La causa del riscaldamento superficiale non è l'aumentata potenza del riscaldamento, ma il fatto che il calore permane più a lungo all'interno del sistema. L'effetto serra non crea energia e non impedisce al pianeta di perdere energia nello spazio. Modifica invece il percorso con cui l'energia lascia il pianeta, facendo sì che la superficie debba raggiungere una temperatura più elevata per mantenere l'equilibrio radiativo. I gas serra svolgono, su scala planetaria, un ruolo analogo a quello del cappotto termico di un edificio: non aumentano l'energia che entra nel sistema, ma ne rallentano la dispersione. La differenza è che il cappotto termico agisce riducendo la conduzione del calore, mentre i gas serra agiscono con meccanismo radiativo, assorbendo e riemettendo la radiazione infrarossa verso la superficie e verso lo spazio esterno.

Un caso notevole:
corpi rocciosi con atmosfera

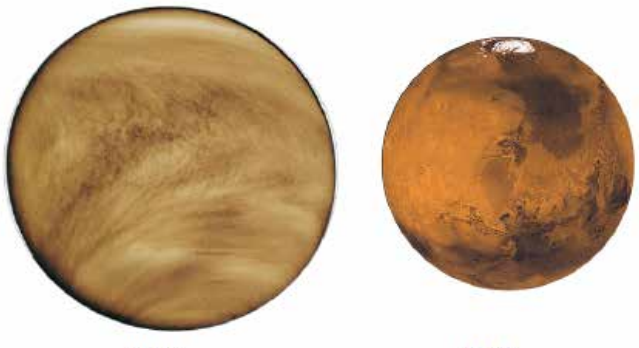
Mercurio e Luna, privi di un'atmosfera significativa, non presentano un effetto serra atmosferico apprezzabile. La loro temperatura superficiale è determinata principalmente dall'energia solare incidente, dall'albedo e dalle proprietà termiche della superficie. Più prossimo al Sole e con albedo leggermente inferiore rispetto a Luna, Mercurio ha una temperatura superficiale media notevolmente più alta.

Le cose diventano più interessanti con gli altri tre corpi celesti. La temperatura superficiale media di Marte è di poco maggiore della temperatura di equilibrio radiativo, quella di Terra lo è in modo



più marcato e quella di Venere è straordinariamente maggiore. In tutti e tre i pianeti è l'effetto serra a determinare questo fenomeno. Terra non costituisce un caso intermedio, come potrebbe apparire dai dati riguardanti la pressione atmosferica, ma rappresenta un caso eccezionale. Le atmosfere di Venere e Marte hanno sì densità molto diverse tra loro, ma sono straordinariamente simili da un punto di vista qualitativo (tabella 2). È l'atmosfera terrestre a distinguersi per la composizione anomala.

I tre pianeti rocciosi maggiori hanno probabilmente iniziato la loro storia con inventari molto simili di gas atmosferici, liberati dal degassamento vulcanico che vi è proceduto con modalità pa-



Corpo celeste	CO_2 (%)	N_2 (%)	Ar (%)	O_2 (%)	H_2O (%)
Venere	96,4	3,5	0,007	0,002	0,01
Terra	0,04	78,1	0,67	20,9	0,03
Marte	95,3	2,7	1,6	0,13	0,02

Tabella 2

6. Non servirà, in questa sede, ricordare le modalità di azione dall'effetto serra, fenomeno ormai ben noto a gran parte della popolazione mondiale, anche se non ancora pienamente compreso nelle sue implicazioni. Forse un caso di rimozione, più che di ignoranza.

ragonabili. Le particolarità delle atmosfere dei tre pianeti sono il risultato delle diverse evoluzioni dell'idrosfera, dell'attività geologica e del campo magnetico. Le atmosfere attuali di Venere e Marte conservano una quantità di CO_2 enormemente maggiore di quella dell'atmosfera terrestre, anche se entrambe hanno subito una lunga e complessa evoluzione. L'elevatissima presenza di CO_2 nella densa atmosfera di Venere rende ragione del colossale effetto serra che si registra nel pianeta. La quantità di CO_2 nell'atmosfera venusiana è rispettivamente ventimila e centocinquantamila volte maggiore di quella presente nell'atmosfera di Marte e di Terra (tabella 3)[7]. Malgrado l'energia assorbita per unità di superficie da Venere sia minore di quella assorbita sulla Terra (vedi tabella 1), a causa dell'elevata albedo venusiana, la temperatura superficiale è portata a valori assai elevati dal colossale effetto serra. Su Marte l'effetto serra è potenzialmente consistente, ma la ridotta irradianza fa sì che la temperatura superficiale media

Pianeta	Massa totale atmosfera (Gt)	Massa di CO_2 stimata (Gt)
Venere	$4{,}8 \cdot 10^8$	$4{,}6 \cdot 10^8$
Terra	$5{,}2 \cdot 10^6$	$3{,}1 \cdot 10^3$
Marte	$2{,}5 \cdot 10^4$	$2{,}4 \cdot 10^4$

Tabella 3

sia solo di poco superiore a quella di equilibrio radiativo. Nell'atmosfera di Terra, la cui densità è intermedia tra quelle di Venere e di Marte, la ridotta presenza di diossido di carbonio unita a una potenza assorbita più elevata di quella di Venere (sempre a causa dell'albedo) fa sì che l'effetto serra agisca con i risultati che conosciamo.

Unicità di Terra

Il carbonio rappresenta una percentuale piccola della massa terrestre, stimata[8] intorno allo 0,1%, presumibilmente non molto diversa da quelle di Venere e di Marte. Questa relativamente piccola[9] quantità di carbonio può essere determinante per la composizione atmosferica, se viene concentrata nel diossido di carbonio. Come abbiamo potuto osservare nella tabella 3, la quantità di diossido di carbonio presente in atmosfera terrestre è proporzionalmente molto piccola rispetto a quella presente nella densissima atmosfera venusiana e assomma a poco più di un decimo di quella presente nella pur rarefatta atmosfera marziana.



Terra

Terra è l'unico pianeta roccioso sul quale il principale serbatoio del carbonio ossidato è costituito da carbonati solidi nella crosta, anziché da diossido di carbonio nell'atmosfera. Ciò accade per una caratteristica che rende Terra unica nel sistema solare: il ciclo del carbonio. Questo ciclo si basa sugli equilibri chimici che regolano gli scambi tra i serbatoi di carbonio del pianeta: atmosfera, idrosfera, litosfera.

7. Nella tabella e nel seguito le unità di misura del SI sono impiegate con i prefissi adeguati all'ordine di grandezza. Il ricorso ai prefissi permette di evitare confusioni tra scala lunga (usata in italiano) e scala corta (usata in inglese e di conseguenza nella letteratura scientifica). L'ordine di grandezza 10^9 in italiano ha come nome miliardo, mentre in inglese il termine usato è billion (fatto da cui derivano frequenti errori in traduzioni affrettate, perché nella scala lunga un bilione indica mille miliardi). Il prefisso G (giga) indica senza equivoci l'ordine di grandezza 10^9.

8. Si tratta di una stima, perché è incerta la quantità di carbonio presente nel nucleo terrestre.

9. Con una massa terrestre di circa $6 \cdot 10^{21}$t, si tratta pur sempre di circa 2 Et (2 exatonnellate), cioè $2 \cdot 10^{18}$ t ... Per la cronaca, sono 2 trilioni di tonnellate nella scala lunga, 2 quintilioni di tonnellate nella scala corta.

Il CO_2 atmosferico reagisce con l'acqua per formare acido carbonico, che precipita al suolo con la pioggia e reagisce con i silicati delle rocce crostali o con gli ioni metallici presenti nell'idrosfera per formare sedimenti carbonatici. I sedimenti e le rocce che ne derivano per diagenesi sono trascinati in profondità nella litosfera con la subduzione delle placche crostali. Nel mantello superiore i carbonati si decompongono e liberano CO_2, che torna in atmosfera attraverso i fenomeni vulcanici. Inoltre, uno scambio continuo di CO_2 avviene tra atmosfera e idrosfera per assecondare equilibri chimici continuamente modificati dalle concentrazioni delle sostanze che vi partecipano. Gli scambi costituiscono un sistema a retroazione negativa che tende a contrastare, su tempi geologici, le variazioni del CO_2 atmosferico e quindi del clima. Questa sostanziale stabilità si trasmette alla temperatura superficiale, regolata dalla presenza di CO_2, che in definitiva dipende da una complessa serie di equilibri chimici concatenati. L'aumento di temperatura e, in generale, l'intensificazione del ciclo idrologico potenziano l'alterazione chimica dei silicati. L'acqua piovana assorbe il CO_2 atmosferico e scioglie i minerali delle rocce sulla terraferma. I prodotti di questo disfacimento (ioni calcio e idrogenocarbonato) sono trasportati dai fiumi agli oceani, dove precipitano come carbonati e si depositano sui fondali oceanici. Le rocce crostali rappresentano una trappola per il carbonio: il loro accumulo drena CO_2 dall'atmosfera, con conseguente riduzione dell'effetto serra e abbassamento della temperatura superficiale. Viceversa, la diminuzione della temperatura implica una riduzione del ciclo idrologico, cosicché meno rocce crostali sono degradate, minori quantità di ioni sono trasportate negli oceani e, in definitiva, più CO_2 rimane in atmosfera. Il ciclo del carbonio costituisce il Grande Termostato del nostro pianeta. La biosfera prospera sulla Terra perché si è bene adattata alle temperature intorno alle quali il Grande Termostato regola le oscillazioni climatiche planetarie. A sua volta, la biosfera interviene nel ciclo del carbonio e può giocare un ruolo capace di determinare oscillazioni climatiche di breve periodo

Un esperimento mentale controfattuale

Da quanto considerato finora, possiamo affermare che il clima di un pianeta roccioso è determinato essenzialmente da tre fattori: la distanza dal Sole, che stabilisce la quantità di energia che investe il pianeta; l'albedo, che determina quanta di questa energia è effettivamente assorbita dalla superficie; l'atmosfera, che determina in larga misura la temperatura della superficie, perché stabilisce come è redistribuita e trattenuta l'energia infrarossa. Terra rappresenta nel sistema solare un caso intermedio e particolarmente favorevole, in cui questi tre fattori si combinano in modo da consentire la presenza stabile di acqua liquida e, di conseguenza, della vita come la conosciamo. L'atmosfera contiene solo una piccolissima frazione del carbonio terrestre, ma il suo contenuto di CO_2 può cambiare considerevolmente anche attraverso trasferimenti relativamente piccoli rispetto ai grandi serbatoi oceanici e geologici.

Per Venere è ipotizzabile la presenza di grandi quantità di acqua durante la sua storia iniziale. Una fase di effetto serra umido o incontrollato avrebbe potuto favorirne la perdita attraverso la fotodissociazione dell'acqua e la fuga dell'idrogeno nello spazio. Una volta scomparsi gli oceani, non esisteva più un serbatoio in cui dissolvere il CO_2 né potevano più formarsi grandi quantità di carbonati. L'ossigeno libero si fissò nelle rocce sotto forma di composti minerali. Il CO_2 emesso dai vulcani rimase quasi interamente nell'atmosfera e potenziò l'effetto serra fino al clima attuale, malgrado la formazione di uno strato di nubi capace di potenziare l'albedo del pianeta.

Anche Marte ha prodotto molto CO_2 tramite il vulcanismo. Successivamente, però, il pianeta si è raffreddato rapidamente, il vulcanismo è quasi cessato e il nucleo ha smesso di generare un forte campo magnetico. La perdita del campo magnetico globale ha reso l'atmosfera più esposta all'interazione con il vento solare e contribuito, insieme ad altri processi di fuga atmosferica, alla sua progressiva rarefazione. Una parte del CO_2 è rimasta nell'atmosfera, una parte è congelata nelle calotte polari e una parte è probabilmente intrappolata nel sottosuolo sotto forma di carbonati.

La gigantesca atmosfera venusiana non implica necessariamente che Venere contenga molto più carbonio di Terra; implica piuttosto che una frazione enormemente maggiore del suo carbonio è presente come CO_2 atmosferico anziché essere sequestrata in altri serbatoi. Se tutto il CO_2 oggi immagazzinato nei calcari e nelle dolomie fosse rilasciato in atmosfera, Terra avrebbe un'atmosfera ricchissima di CO_2, probabilmente con pressioni di decine di bar. Non necessariamente un'atmosfera identica a quella di Venere, perché entrerebbero in gioco anche la diversa distanza dal Sole e l'evoluzione geologica, ma certamente molto diversa da quella attuale.
Se, con un esperimento mentale, immaginassimo di scambiare le atmosfere dei pianeti, constateremmo che Venere con l'atmosfera terrestre avrebbe probabilmente una temperatura media superficiale di poche decine di gradi sopra lo zero centigrado, anziché 735 K. A parità di albedo con quella attuale, Terra con l'atmosfera venusiana raggiungerebbe temperature di parecchie centinaia di kelvin, pur ricevendo meno energia dal Sole di Venere. Con un'atmosfera densa come quella terrestre, Marte sarebbe molto più caldo dell'attuale e potrebbe mantenere acqua liquida su ampie regioni della superficie.

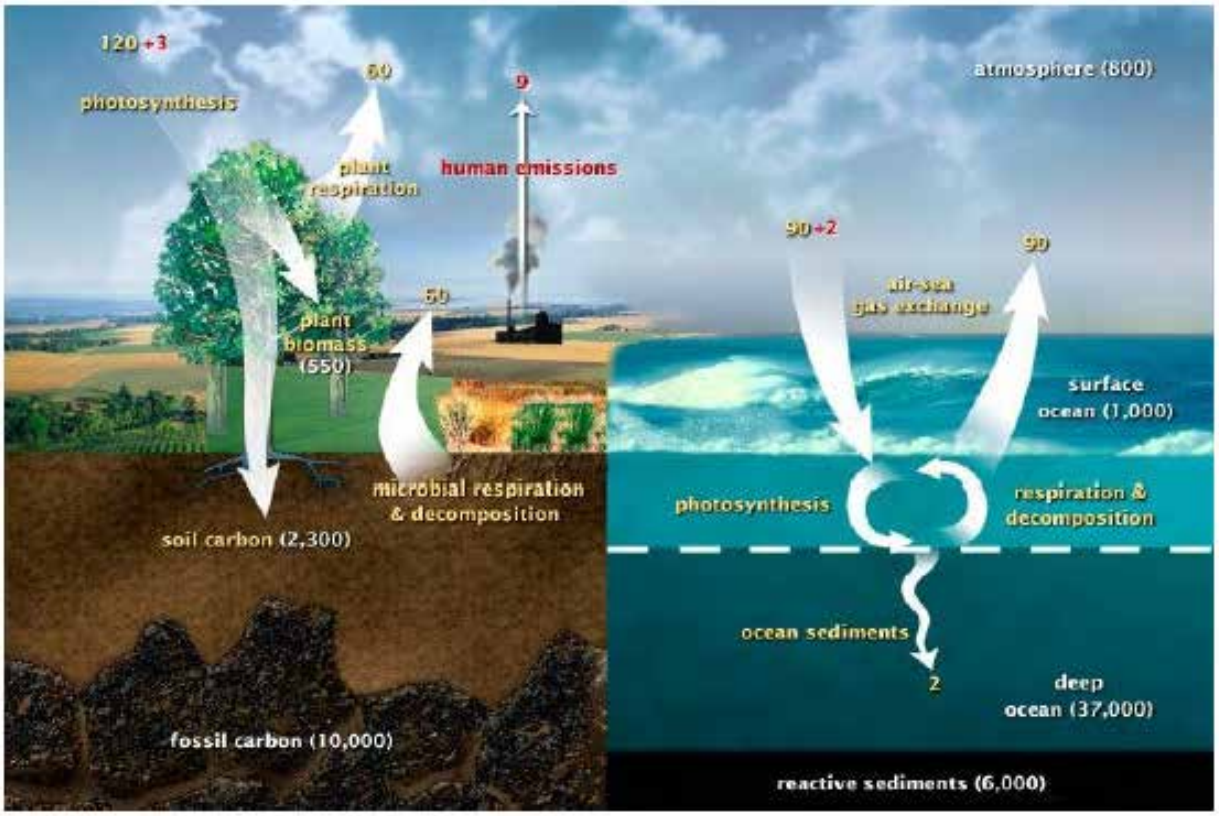
Il tranquillo procedere dei tempi geologici

I tempi caratteristici di ricambio del carbonio presente nei serbatoi costituiti da rocce, suolo, oceano e atmosfera vanno dai 100 ai 200 milioni di anni[10]. I flussi geologici hanno come ordine di grandezza da 0,01 a 0,1 Gt di carbonio/anno[11]. Non sorprende, pertanto, che questo ciclo prenda il nome di ciclo lento del carbonio. La biosfera è protagonista di un secondo ciclo del C, che prende il nome di ciclo veloce e che comprende flussi molto diversi, alcuni dei quali mobilitano ogni anno decine o centinaia di Gt di carbonio. I tempi di ricambio propri dei principali serbatoi del ciclo veloce sono dell'ordine di anni, decenni, secoli o millenni, a seconda del serbatoio considerato. Il ciclo veloce sottrae CO_2 all'atmosfera attraverso la fotosintesi per produrre composti organici. Il destino dei composti organici può essere quello di restituire immediatamente CO_2 attraverso la respirazione (degli autotrofi, degli eterotrofi, dei decompositori) o la combustione dovuta agli incendi (per quanto riguarda la biosfera di ambiente subaereo)[12], oppure di andare incontro al seppellimento e all'incorporazione nelle rocce crostali formando giacimenti di C ridotto, come i combustibili fossili, con caratteristiche ben diverse dai giacimenti di C ossidato che formano le rocce calcaree.
Il ciclo veloce del carbonio mobilita quantità enormi di carbonio, ma il suo peso nella determinazione del clima planetario è minimo. Infatti, questo ciclo è sostanzialmente in equilibrio: di norma i flussi che sottraggono CO_2 all'atmosfera con la fotosintesi sono compensati dai flussi che restituiscono CO_2 all'atmosfera con la respirazione. Il ciclo veloce è molto dinamico, e tende a compensare rapidamente gran parte degli scambi tra atmosfera, biosfera e oceano. Su tempi geologici, tuttavia, il suo bilancio netto può essere importante, soprattutto quando una parte del carbonio viene trasferita ai serbatoi a lunga permanenza.
È il ciclo lento a determinare il livello di CO_2 nell'atmosfera, attraverso processi impercettibili sulla scala temporale della vita umana, ma capaci di trasferire il carbonio da un serbatoio all'altro in tempi lunghi milioni o decine di milioni di anni, con modifiche sostanziali del bilancio netto del carbonio nel sistema litosfera - idrosfera - atmosfera. Malgrado la lentezza dei processi, è all'instaurarsi di questo ciclo, innescato dalla presenza di un'abbondante idrosfera capace di avviare il ciclo dell'acqua, che dobbiamo il mantenimento nel lunghissimo periodo di condizioni climatiche

10. Il tempo indicato è quello necessario, al ritmo medio dei flussi attuali, per rinnovare il carbonio contenuto nel serbatoio. L'ampio intervallo di incertezza dipende dai diversi serbatoi e dai differenti tempi di residenza del carbonio in ciascuno di essi.

11. A titolo di confronto, le emissioni antropogeniche annue di carbonio nell'atmosfera sono da 10 a 100 volte maggiori.

12. Da un punto di vista stechiometrico respirazione e combustione si equivalgono, le differenze risiedono nella modalità con cui le reazioni procedono.



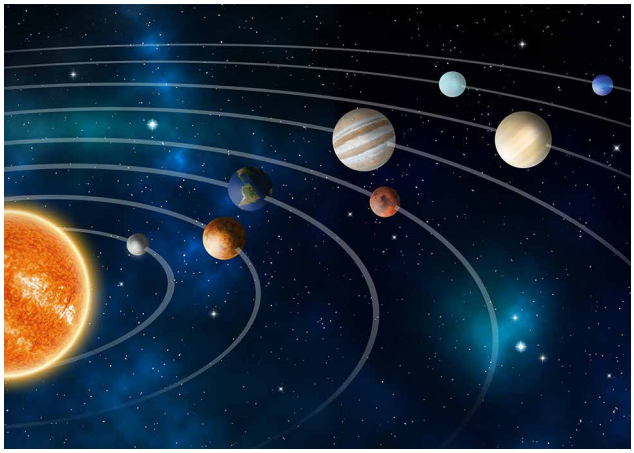
Questo diagramma del ciclo del carbonio (https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/the-carbon-cycle/) mostra i principali flussi del ciclo "veloce" del carbonio e i principali serbatoi del ciclo del carbonio nel suo complesso (sia il ciclo "veloce"che quello "lento"). I serbatoi sono indicati con testo bianco in gigatonnellate di carbonio (GtC). Le frecce indicano i flussi di carbonio tra i serbatoi e sono contrassegnate da testo giallo; le portate sono espresse in gigatonnellate di carbonio all'anno (GtC/y). Le dimensioni delle frecce sono approssimativamente proporzionali alla quantità di carbonio presente nei vari flussi. Il testo e i numeri in rosso indicano i cambiamenti al ciclo naturale del carbonio causati dalle attività umane, principalmente la combustione di combustibili fossili, la produzione di cemento e i cambiamenti nell'uso del suolo.

compatibili con la persistenza e l'evoluzione della biosfera.

Il ciclo veloce può avere impatto sul clima da un secolo all'altro, se i flussi di carbonio sono scompensati. Su tempi geologici, però, tende a comportarsi come un sistema che ricicla carbonio già presente. Il ciclo lento determina quanto CO_2 è aggiunto o sottratto in maniera duratura ai diversi serbatoi che partecipano al sistema a retroazione del Grande Termostato. Il ciclo veloce domina la velocità con cui il carbonio è scambiato tra atmosfera, oceano e biosfera; il ciclo lento domina invece, nel lungo periodo, la quantità di carbonio disponibile nel sistema superficiale e quindi il livello di fondo del CO_2 atmosferico. Il clima dipende dalla differenza tra i flussi, non dalla loro entità. Non conta soltanto quanto carbonio viene movimentato, ma soprattutto per quanto tempo uno squilibrio tra i flussi riesce a persistere.

In questo sereno e idillico panorama di equilibri di lungo periodo occorre però considerare una variabile ulteriore. L'equilibrio tra fotosintesi e respirazione non è assoluto, o per lo meno non lo è sempre. Una caratteristica della vita è la continua espansione, pur nei limiti delle risorse disponibili. La storia della vita sulla Terra è caratterizzata da momenti in cui la conquista di nuovi ambienti o di nuove risorse ha determinato la prevalenza della sottrazione di carbonio. In particolare, circa 400 milioni di anni fa, la colonizzazione degli ambienti subaerei da parte delle piante vascolari portò alla sintesi di una quantità notevole di nuova materia organica. Una parte considerevole della materia organica prodotta dalle grandi fore-

ste palustri del Carbonifero e, in misura minore, di altri periodi non fu completamente decomposta e venne sepolta. Questa è l'origine di una parte importante dei grandi depositi di carbone che oggi sfruttiamo. Gli idrocarburi si sono formati, in prevalenza, a partire da materia organica marina o lacustre che si è accumulata in sedimenti poveri di ossigeno in un arco di tempo più ampio. I depositi geologici di materiale organico, sotto forma di carbone come di idrocarburi, costituiscono una sorta di volano energetico. In essi è rimasta incamerata e conservata energia chimica potenziale prodotta grazie al flusso di energia solare. Questi depositi hanno progressivamente trasferito carbonio dal ciclo veloce al ciclo lento. Carbone, petrolio e gas naturale sono essenzialmente carbonio del ciclo biologico che è riuscito a "sfuggire" al ritorno rapido nell'atmosfera e che è stato trasferito al ciclo geologico[13]. La vita terrestre è diventata, a partire dal Paleozoico, una componente del ciclo geologico del carbonio. Da quel momento la biosfera non è stata più soltanto qualcosa che "vive sul pianeta", ma è diventata uno dei meccanismi attraverso cui il pianeta stesso regola la propria atmosfera e il proprio clima su scala geologica. ●



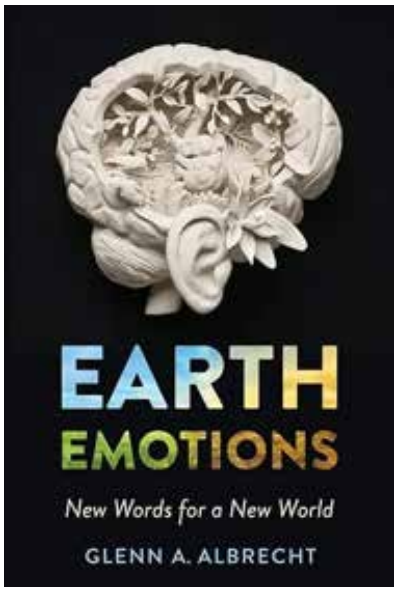
13. Non tutto il carbonio organico sepolto diventa combustibile fossile: la stragrande maggioranza viene trasformata o rimane come materia organica sedimentaria senza arrivare a formare un giacimento sfruttabile.

Paul Hawken
Carbonio.
L'elemento misterioso della vita
Aboca Edizioni 2026



È tempo che la civiltà moderna abbandoni il presupposto dell'eccezionalismo umano per riconoscere che la nostra esistenza si basa sull'intera vita planetaria. Per farlo, deve concentrarsi sulla "danza del carbonio", quella rigenerazione continua che è propria della vita. Il carbonio è il più misterioso degli elementi. Forma catene molecolari che catturano energia e sono capaci di memoria. Non vi sono altri elementi in tutto l'universo in grado di farlo. Il carbonio è l'impalcatura strutturale di alberi, cellule, conchiglie, ormoni, organelli, ciglia, ossa e ali di pipistrello. Organizza, assembla e costruisce ogni cosa ovunque: dalle barriere coralline ai rinoceronti, dalle piante ai pianeti. La pelle, le squame, le membrane che avvolgono e proteggono la vita sono fatte di carbonio. Sebbene costituisca una frazione molto piccola della materia dell'universo, è presente anche nel 90% delle molecole delle nubi interstellari e nel 99% dei trentatré milioni di sostanze che si trovano sulla Terra. Il carbonio entra ed esce dall'atmosfera da miliardi di anni, ma mai alla velocità osservata nell'ultimo secolo. L'umanità, infatti, ha dato origine a una nuova era geologica bruciando, nel giro di pochi secoli, dieci milioni di anni di carbonio fossile. I giovani, ultimi arrivati sul pianeta, trovano sbalorditivo che le generazioni precedenti abbiano compreso il pericolo dell'aumento dei livelli di gas serra e non abbiano fatto nulla in risposta…
Paul Hawken esamina il fluire della vita attraverso la lente del carbonio: ci guida nel regno delle piante, degli animali, degli insetti, dei funghi, del cibo per offrire una nuova narrazione dell'elemento che, sotto forma di anidride carbonica, è ritenuto il più temibile nell'ambito della crisi climatica. In questo libro emozionante, ci mostra che la società, il mercato e i governi devono rivolgere l'attenzione alla "danza del carbonio", quella rigenerazione continua che è propria della vita – perché, benché largamente ignorato dai media, esiste un movimento per la rigenerazione del mondo vivente, radicato in migliaia di organizzazioni, che passa attraverso la saggezza indigena. E illumina le sottili connessioni tra il carbonio e la nostra esperienza umana collettiva, chiedendoci di vedere la natura, il carbonio e noi stessi come di fatto siamo: inseparabilmente connessi.

Glenn A. Albrecht
Earth Emotions.
New Words for a New World
Cornell University Press, 2019



Secondo il recente rapporto scientifico del Planetary Health Check, la Terra ha oltrepassato la maggior parte dei limiti essenziali per la stabilità del sistema ecologico. Claude Levi-Strauss disse una volta che il mondo è cominciato senza l'uomo e finirà senza di lui. Sembrava una profezia, ma oggi sta diventando una sentenza; neppure lui immaginava che l'uomo avrebbe trascinato nella sua fine anche ogni forma vivente.

Il riscaldamento globale oramai pregiudica la sopravvivenza delle forme di vita, principalmente quella umana, ma tutto ciò avviene nella ignavia di governi, prigionieri consenzienti degli interessi di profitto del capitale finanziario. Molti guasti oramai sono irreversibili e l'idea che si tratti di processi a lungo termine è contraddetta dalla loro accelerazione e moltiplicazione. Molti processi ecologici e fisiologici vitali sono sconvolti dai cambiamenti di temperatura e dai gas inquinanti che distorcono il campo termodinamico in cui avvengono queste funzioni. Non è più possibile sfuggire: non abbiamo un pianeta di ricambio in cui salvarci e non vi sono territori terrestri che possono sottrarsi a questi disastri.

Di fronte a un simile scenario, sconcerta l'ingenuità con la quale il filosofo australiano Glenn Albrecht, esperto delle relazioni tra ecosistemi e salute umana e pioniere della ricerca sulle condizioni di salute mentale *psicoterratiche*, cioè legate all'esperienza vissuta di cambiamenti ambientali negativi, giunge al concetto di *solastalgia* (termine che indica la sofferenza psicologica ed emotiva causata dalla distruzione dell'ambiente in cui si vive), che andrebbe corretta eliminando la competitività della vita e della vita sociale trovando nuove modalità di convivenza. Il *Simbiocene*, che, Albrecht propone, dovrebbe essere un nuovo periodo della storia geologica nel quale gli esseri umani si reintegrano simbioticamente alle altre forme di vita. In tal modo, secondo Abrecht, grazie a questa svolta, la bioscienza potrebbe liberarci dalla visione competitiva della vita incentrata sul dominio del più forte e passare ad una nuova visione della vita basata sull'aiuto reciproco e su partnership sempre più grandi. L'essenza dell'uomo contemporaneo, verrebbe da obiettare, *non è* l'uomo stesso, come pensavano Fichte e Marx, ma l'essere la cui mente è stata modellata dall'incedere della società del profitto e dei consumi; cambiare questo modello di pensiero richiederebbe la preventiva abolizione delle sue cause: il capitalismo.

Viene da domandarsi: a quale umanità si rivolge Albrecht? Allo piccola percentuale di umani sensibili della massa proletarizzata succuba del capitale finanziario, oppure al meno di un centinaio di coloro che dominano, anche psicologicamente, la massa proletarizzata che sfruttano ed alla quale stanno togliendo il pianeta? La visione competitiva è la filosofia del capitale, esprime la natura stessa del sistema economico-sociale prodotto dal grande capitale finanziario, non è una sovrapposizione al mondo, è il mondo stesso, il meccanismo del suo attuale funzionamento, il mondo degli Elon Musk, dei Bill Gates, ecc. Possibile che Albrecht non se ne sia accorto? O ritiene realistico e possibile convincerli a rinunciare al loro potere?

Albrecht affronta coraggiosamente il tema etico della migrazione assistita per le specie minacciate dal clima. Eppure, la sua proposta solleva dubbi sostanziali: dove andrebbero trasferite queste specie, e con quali criteri? Considerare i viventi come oggetti spostabili significa ignorare che la Terra è un unico ecosistema integrato. La fisiologia e la sopravvivenza di ogni organismo dipendono dal contesto evolutivo e dalla rete di relazioni in cui è inserito, la cui resilienza è ormai al limite del collasso. Già Lévi-Strauss ricordava che l'origine di ogni violenza e discriminazione nasce dalla netta separazione tra uomo e animale. Isolandosi dal mondo naturale, l'essere umano ne ha autorizzato lo sfruttamento, per poi rivolgere la stessa violenza contro i propri simili attraverso il classismo, il razzismo e il colonialismo. È proprio questa visione, che riduce la natura e gli uomini a risorse da sacrificare al profitto, la vera radice della crisi planetaria.

Piero Sagnibene

Leucospidae

Marco Bondini

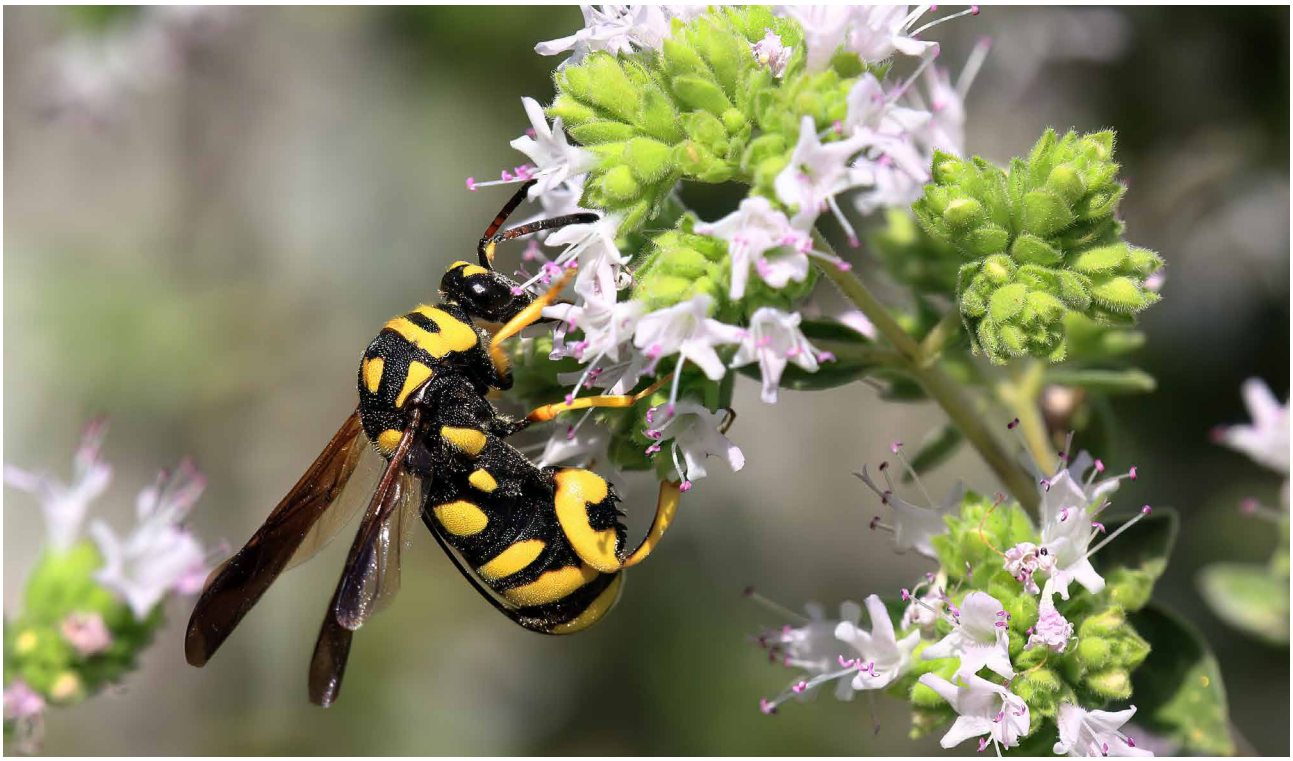


Fig. 1. Femmina di *Leucospis gigas* che si nutre sui fiori di maggiorana.

I Leucospidae sono una famiglia di imenotteri appartenenti alla superfamiglia dei Chalcidoidea. Questa categoria tassonomica comprende numerose famiglie di imenotteri e migliaia di specie. In questo numero presentiamo non soltanto le notizie relative a questa famiglia, ma anche un vero e proprio servizio fotografico che documenta il comportamento di ovodeposizione di *Leucospsis*.

L'osservazione del microcosmo non manca mai di stupire, ma quello che mi accadde diversi anni fa fu per me un incontro davvero sorprendente. Stavo fotografando i visitatori di una pianta di maggiorana, quando la mia attenzione fu attirata da uno strano imenottero. A prima vista mi era sembrato una vespa, ma guardandolo meglio e inquadrandolo con l'obiettivo macro notai numerosi particolari che mi fecero cambiare idea: si trattava di qualcos'altro di nuovo per me. Il corpo appariva stranamente compatto, quasi privo della caratteristica strozzatura che normalmente separa il torace dall'addome nelle vespe; le zampe posteriori presentavano femori molto ingrossati, provvisti di una fila di denti. Inoltre, l'addome non era affusolato e, cosa strana, era presente un lungo ovopositore ripiegato sopra di esso. Quel giorno avevo incontrato per la prima volta un esemplare di Leucospidae. Per la precisione, l'esemplare che avevo fotografato era una femmina di *Leucospis gigas*, una delle specie più grandi della famiglia, lunga più di 2 cm (fig. 1, in questa pagina).

I Leucospidae sono una famiglia di imenotteri appartenenti alla superfamiglia dei Chalcidoidea. Questa categoria tassonomica comprende numerose famiglie di imenotteri e migliaia di specie.

Generalmente sono imenotteri di piccole dimensioni. Sono prevalentemente parassitoidi di altri insetti; altri, invece, sono galligeni, cioè inducono la formazione di galle nelle piante. Sono state inoltre documentate specie fitofaghe o predatrici.
I Leucospidae hanno diverse caratteristiche morfologiche che li contraddistinguono, tra le quali spiccano le zampe posteriori con femori molto ingrossati e provvisti di denti, le tibie molto incurvate e un ovopositore ripiegato sopra l'addome. Questa particolare posizione dell'ovopositore si riscontra anche in altri imenotteri, ma solo nello stadio di pupa. I Leucospidae sono gli unici ad averla conservata anche nello stadio adulto.
Fino a oggi nel mondo sono state descritte 144 specie di questa famiglia, appartenenti a quattro generi: *Leucospis*, *Micrapion*, *Neleucospis* e *Polistomorpha*.
Sono tra i più grandi rappresentanti della superfamiglia Chalcidoidea, raggiungendo in alcune specie dimensioni superiori ai 2 cm.
Si riproducono normalmente per via sessuata, quindi in natura sono presenti sia femmine sia maschi. In alcune specie, però, sono stati documentati fenomeni di partenogenesi. È il caso, per esempio, di *Leucospis gigas*.
Sono cosmopoliti, ma si incontrano raramente. Le foto di questo articolo documentano gli unici tre esemplari che sono riuscito a osservare nell'arco di 15 anni di ricerche.
I Leucospidae sono ectoparassitoidi. L'adulto dei *Leucospis* depone un uovo su un insetto, che si trova allo stadio larvale. Dall'uovo si sviluppa una larva che cresce all'esterno del corpo dell'ospite, nutrendosi di esso. Gli ospiti sono noti soltanto per circa 25 specie di *Leucospis* (circa il 20% delle specie conosciute a livello mondiale).
Le specie ospiti sono principalmente api solitarie e, meno frequentemente, vespe solitarie, come per esempio Eumenidae e Sphecidae. Questi imenotteri nidificano in celle, in modo analogo alle api, ma spesso i materiali costituenti gli involucri sono rigidi e resistenti.
Per riuscire a raggiungere la larva dell'ospite, la femmina deve perforare le pareti della cella con il suo ovopositore. A causa della particolare morfologia di questi insetti, l'ovodeposizione avviene in modo molto particolare, come si vedrà in seguito. Prima però è necessario conoscere l'anatomia dell'ovopositore, molto lungo e fino come un capillare: sembra incredibile che uno stiletto così sottile riesca a perforare anche il legno o la dura argilla senza rompersi o deformarsi. In realtà l'ovopositore, contrariamente a ciò che si potrebbe immaginare, non è un semplice ago da siringa, ma una struttura complessa, costituita da più elementi che possono scorrere l'uno rispetto all'altro.
Nel caso dei Leucospidae, l'ovopositore nella sua parte apicale è diviso longitudinalmente in tre elementi: quello ventrale costituisce circa la metà della sezione trasversale, mentre gli altri due ne costituiscono circa un quarto ciascuno. Sul lato ventrale sono presenti alcuni denti che gli conferiscono un aspetto simile a quello di una sega. In altre famiglie di imenotteri è stato dimostrato che gli elementi terminali dell'ovopositore perforano il legno muovendosi verticalmente in modo alternato: è quindi plausibile l'ipotesi che anche quelli dei Leucospidae agiscano in modo simile. È stata inoltre riscontrata la presenza di zinco nella parte apicale dell'ovopositore, elemento che potrebbe contribuire a conferirgli la durezza e la resistenza necessarie alla perforazione.
Non solo l'ovopositore, ma l'intero processo di deposizione è veramente particolare. Ho pensato che avrei potuto osservarlo e documentarlo quando ho visto un maschio di *Leucospis*, probabilmente *L. cfr. dorsigera* (figg. 2, 3, 4 alla pagina seguente), emergere da una cella di uno dei miei bee hotel dove avevano nidificato le *Osmia submicans* (figg. 5, 6, 7 alla pagina seguente). Le *Osmia* sono api solitarie, appartenenti alla famiglia Megachilidae, che spesso finiscono per diventare gli ospiti per i *Leucospis*.
Dopo aver verificato la presenza dei *Leucospis* nel mio bee hotel, è stato sufficiente avere un po' di pazienza e dedicare del tempo al monitoraggio dei nidi per vedere finalmente volare una femmina.
Questa volta, però, non mi sono limitato a fotografarla. Ho avuto la fortuna di osservare direttamente il comportamento di ovodeposizione, assistendo a diverse deposizioni nell'arco di al-

cuni giorni e riuscendo a documentare fotograficamente le fasi principali di questo processo.
1. Tutto inizia con l'ispezione dei nidi. Ho osservato che il *Leucospis*, dopo essersi posato, cerca il luogo più adatto per deporre. Compie dei movimenti circolari sfiorando il legno con le estremità delle antenne, probabilmente per individuare la presenza della larva di *Osmia* e stabilire il punto esatto in cui inserire l'ovopositore (fig. 8 alla pagina seguente).



Fig. 2. *Leucospis cfr. dorsigera* maschio (si noti l'assenza dell'ovopositore).



Fig. 3. *Leucospis cfr. dorsigera* maschio.



Fig. 4. *Leucospis cfr. dorsigera* maschio.



Fig. 5. Un esemplare di *Osmia submicans* che nidifica nel bee hotel.



Fig. 6. *Osmia submicans* femmina.

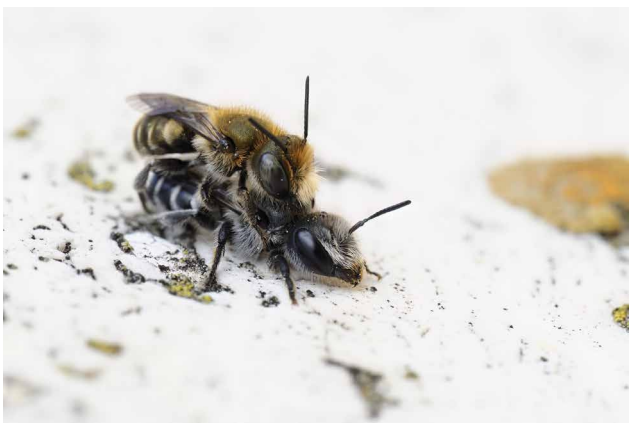


Fig. 7. *Osmia submicans* coppia.

2. Successivamente l'ovopositore comincia a essere estratto dalla guaina in cui normalmente è conservato. In effetti, la struttura anatomica situata sopra l'addome è la guaina di protezione dell'ovopositore vero e proprio. La guaina viene aperta longitudinalmente, l'ovopositore viene estratto e compie un'ampia rotazione per raggiungere la direzione di perforazione. La punta viene quindi inserita in una apposita struttura situata sotto l'addome, che sembra fungere da supporto e da guida. L'addome si inarca e la struttura di supporto diventa ben visibile (fig. 9).

3. L'ovopositore è posizionato perpendicolarmente alla superficie legnosa. In questo momento l'addome sembra aprirsi perché si ha la massima estensione della membrana intersegmentale che collega i tergiti, cioè le placche dorsali dei segmenti addominali (figg. 10, 11).

4. Inizia la perforazione del legno. L'ovopositore penetra molto profondamente, l'uovo viene rilasciato e poi gradualmente l'addome torna alla sua forma di riposo (figg. 12 e 13 alla pagina seguente).



Fig. 8. Femmina di *Leucospis cfr. dorsigera* che ispeziona il bee hotel.

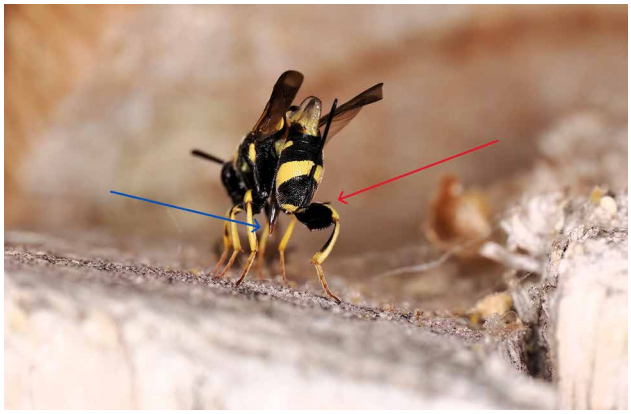


Fig. 9. Ovopositore appena estratto dalla guaina (indicato dalla freccia rossa). La freccia blu indica la struttura di supporto sotto l'addome.



Fig. 10. Ovopositore posizionato perpendicolarmente al piano di penetrazione (freccia rossa). È visibile la membrana intersegmentale tra i tergiti addominali (freccia blu).



Fig. 11. Massima estensione della membrana intersegmentale tra i tergiti addominali (frecce rosse).



Fig. 12. Inizio penetrazione.

5. Alla fine della deposizione l'ovopositore viene inserito di nuovo nella guaina (fig. 14).
Questo comportamento è veramente sorprendente, considerando che l'animale deve raggiungere una cella nascosta all'interno del legno senza poterla vedere. Inoltre, risultano evidenti anche l'alto livello di complessità e la elevata specializzazione delle strutture anatomiche coinvolte.
Ancora una volta, da un incontro casuale con quella che sembrava ai miei occhi solo una vespa singolare è nata una osservazione che inserirei tra le più interessanti che io abbia mai fatto. La natura non smette mai di stupirci ed è una fonte inesauribile di sorprese per chi ha pazienza e occhi curiosi per osservarla. ●



Fig. 13. Penetrazione quasi conclusa.



Fig. 14. Femmina di *Leucospis cfr. dorsigera* con l'ovopositore inserito nella guaina (freccia rossa).

Bibliografia

Bouček Z, *A revision of the Leucospidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) of the world.* Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology Supplement, 23: 1-241, 1974.

Heraty J, Woolley J (eds.), *Chalcidoidea of the World.* CABI Publishing, 886, 2025.

Darling DC, Cardinal S, *The world species-groups of Leucospis (Hymenoptera: Leucospidae) - thirty years later,* Acta Societatis Zoologicae Bohemicae, 69:49-64, 2005.

Kim JY, Park J-H, Kwon OC, Kim J, *A comparative study of the morphology of the ovipositors of wood-boring insects, Tremex fuscicornis and Leucospis japonica,* Korean Journal of Environmental Biology, 38(4):554-562, 2020. https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.4.554

La scelta di dedicare il Focus di questo numero della rivista alla tutela del patrimonio arboreo italiano discende dall'evento "ALBERI: FERMIAMO LA MATTANZA" che si è svolto presso il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa il 13 febbraio 2026.
Come si evince dalla locandina è stata la presentazione del libro con lo stesso titolo a offrire la motivazione per un confronto sul tema del taglio indiscriminato degli alberi.
La presentazione del libro da parte dell'autrice, Linda Maggiori, ha aperto la discussione.
Il libro, basato su dati scientifici, testimonianze di esperti e attivisti, racconta l'importanza degli alberi, per imparare a difenderli e contrastare il loro abbattimento, che, soprattutto nei territori urbanizzati, non sempre è dovuto a giustificate motivazioni di salute e stabilità arborea, ma spesso sottostà a ragioni di presunta "sicurezza pubblica", ad assunzioni burocratiche di responsabilità (anche nei confronti di aspetti risarcitori e indennizzi assicurativi) che hanno come risultato quello di privare gli ambienti urbani della necessaria copertura verde, che è poi l'unico valido antidoto per contrastare il fenomeno delle "isole di calore" estive.
Non va meglio con le pratiche di rimboschimento dei territori degradati, ad esempio, dopo il passaggio di incendi. Per frettolosità nell'intervenire, o anche per una non sempre adeguata conoscenza delle dinamiche ecologiche e di vegetazione, anche a livello locale, spesso si tende a mettere a dimora nuovi alberelli – anche con costi elevati e con esiti di successo talora parziale o limitato – senza magari valutare che spesso in natura, col normale progredire delle successioni ecologiche della vegetazione, il naturale processo di rivegetazione potrebbe avvenire in tempi assai più brevi, e con costi pressoché nulli, con il collocamento di specie mirate.
In questo spazio sono riportati tre degli interventi che si sono succeduti nel pomeriggio.



INGRESSO LIBERO | **PRENOTAZIONE CONSIGLIATA:** WhatsApp +39 333 916 0093
Per info tel: +39 347 455 3575

Possibilità di seguire l'evento in diretta sul canale YouTube @nadiadarco7336

Per partecipare al dibattito con la possibilità di fare domande e ottenere il link scrivere a c.l.s.vicomontepisano@gmail.com.



Foreste complesse e attivazione della pompa biotica

Alessandro Bottacci

Our planet is undergoing significant and rapid global change due to increased combustion, deforestation, and the alteration of natural systems. The most obvious effects of this change are the increase in Earth's atmospheric temperature and the reduction in the fraction of available freshwater. Due to these changes, the areas of the world experiencing aridity are worryingly increasing. Complex forests represent one of the most effective tools for responding to this change, provided that two parameters are taken into account: time and space. Complex forests influence the water cycle, activating the biotic pump, a circular process that attracts wetland flows from the oceans to the Earth's interior. Logging (particularly clear-cutting and coppice) simplifies forest ecosystems, diminishes their resilience, and negatively impacts the functionality of the biotic pump.
Key words: *Complex forests, Biotic pump, Water cycle.*

Purtroppo, è molto più facile
creare un deserto che una foresta
James Lovelock

I cambiamenti climatici di origine antropica che sono in atto in tutto il pianeta negli ultimi decenni, determinano una situazione preoccupante. Le conseguenze principali di questo cambiamento sono il riscaldamento del pianeta, l'insorgenza di eventi meteorologici eccezionali e l'alterazione del ciclo dell'acqua, che porta ad una complessiva riduzione della disponibilità di acqua dolce[1].
La deforestazione diffusa (con perdita di 13 milioni di ettari all'anno di foreste naturali), l'aumento delle combustioni e delle emissioni di gas serra (come anidride carbonica e metano) e l'alterazione della funzionalità degli oceani, ha determinato un aumento della temperatura atmosferica media pari a + 1,5 °C negli ultimi 150 anni. Lo scioglimento dei ghiacciai polari e montani, la modifica dell'uso del suolo, con espansione delle aree impermeabilizzate, e la velocizzazione del deflusso, portano alla perdita di acqua dolce (che rappresenta una percentuale ridottissima dell'acqua totale



1. Kravčík M, Pokorný J, Kohutiar J, Kováč M, Tóth E, *L'acqua per il recupero del clima. Un nuovo paradigma dell'acqua,* Biologia Ambientale, 35, supplemento:1-123, 2021. DOI 10.30463/ao211.008

della Terra) e all'aumento di quella salata[2]. Gli effetti combinati di queste due modifiche (aumento della temperatura e diminuzione della disponibilità di acqua dolce) inducono un aumento delle aree a rischio siccità e, contestualmente, amplificano il rischio di eventi alluvionali "eccezionali" a grande energia. Uno degli strumenti più efficaci e meno dispendiosi per arginare il fenomeno delle alterazioni climatiche è la conservazione delle foreste evolute[3]. Le foreste non sono un semplice insieme di alberi, destinato alla produzione di legna da ardere o di legname da lavoro. Le foreste sono molto di più. Sono sistemi biologici complessi, costituiti da un elevatissimo numero di organismi viventi, tutti collegati da una fitta rete di relazioni. Più la foresta è indisturbata e maggiore è il suo grado di complessità, che si riflette, poi, sulla funzionalità e sulla resilienza degli ecosistemi forestali stessi.

Perché le foreste raggiungano alti livelli di efficacia occorre che siano assicurati due parametri fondamentali: il tempo e lo spazio[4]. Foreste giovani (al disotto dei 60-70 anni) e poco estese (con superfici inferiori a qualche centinaio di ettari) hanno efficacia bassa. Il tempo permette a un ecosistema forestale di svolgere appieno i processi naturali, specialmente la successione ecologica che passa da sistemi più semplici e vulnerabili verso sistemi più complessi e stabili. Col trascorrere del tempo senza disturbo antropico, aumenta la densità del popolamento, il volume, la superficie forestale e la profondità del suolo, insieme alla biodiversità e alla rete di collegamenti tra le specie presenti. Nel suolo si amplia, anche, la rete micorrizica (cosiddetto Wood Wide Web), costituita dalle ife fungine collegate agli apici radicali degli alberi. Questa permette lo scambio di acqua, sostanze nutritive e informazioni tra tutti i componenti della comunità[5].

Altro parametro fondamentale è lo spazio. Le foreste naturali, a differenza degli altri ecosistemi terrestri, sono tipicamente e eminentemente tridimensionali. Queste, infatti, mostrano un elevato biospazio sviluppato sia in senso orizzontale (superficie forestale continua) che in senso verticale (spessore ecologico). Quest'ultimo indica lo spazio dove si svolgono la maggior parte dei processi fisiologici ed ecologici, delimitato in basso dalle radici più profonde e in alto dalle zone più alte delle chiome. Lo spessore ecologico può superare anche i 100 m e permette di costituire una stratificazione di condizioni microclimatiche che, a sua volta, aumenta la biocomplessità (fig. 1). La superficie orizzontale estesa e continua di una foresta permette poi di formarsi il cosiddetto mosaico strutturale: si tratta sostanzialmente della distribuzione sulla intera superficie di aree più piccole nelle quali si trovano fasi di crescita della foresta diverse (dal popolamento di giovani piantine fino ai gruppi di alberi vetusti, che hanno raggiunto gli stadi di invecchiamento, morte e crollo).

Un altro aspetto legato allo spazio è l'indice di area fogliare, cioè il rapporto (metro quadro su metro quadro) della superficie complessiva delle foglie per unità di superficie della foresta stessa. L'indice di area fogliare varia molto in funzione della evoluzione del popolamento forestale: in foreste degradate o tagliate di recente ha un valore inferiore a 1 m^2/m^2, nelle foreste evolute e indisturbate può raggiungere il valore di 19-20 m^2/m^2 [6].

Un fattore dimensionale di grande rilievo è la profondità del suolo, che, nei popolamenti forestali indisturbati, rappresenta il luogo principale delle interazioni tra le piante e, contemporaneamente, l'ambito di stoccaggio dell'acqua e del carbonio, sotto forma di sostanza organica[7].

2. Hoekstra AY, Chapagain AK, *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*. In: Craswell E, Bonnell M, Bossio D *et al.* (eds), *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change*, Springer, Dordrecht, 2007.

3. FAO, IUFRO e USDA, *A guide to forest-water management.* FAO Forestry Paper No. 185. Rome, 2021; Ellison D, Morris CE, Locatelli B *et al*., *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world*. Global environmental change, 43:51-61, 2017.

4. Bottacci A, *Lo spazio e il tempo per le foreste resilienti*. L'Italia Forestale e Montana, Italian Journal of Forest and Mountain Environments, 75 (2):1-12, 2020. DOI:10.4129/ifm.2020.2.02.

5. Simard SW, Durall DM, *Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance*. Canadian Journal of Botany, 82 (8), 2004, https://doi.org/10.1139/b04-116.

6. Bréda NJJ, *Leaf Area Index,* Encyclopedia of Ecology:2148-2154, 2008, https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00849-1.

Le foreste complesse hanno un ruolo imprescindibile nella conservazione delle risorse idriche, nell'azione antierosiva e nell'effetto regimante[8]. Il ciclo dell'acqua è legato alla foresta complessa attraverso vari processi come l'attrazione delle correnti umide, l'intercettazione della pioggia, il rallentamento della velocità di deflusso, l'infiltrazione delle acque meteoriche negli strati più profondi del sottosuolo, la ritenzione idrica e il rilascio lento dell'acqua.

Il sistema foresta/suolo/sottosuolo rappresenta un fondamentale serbatoio di acqua dolce e un regolatore del ciclo dell'acqua sull'intero pianeta. Ben il 75% dell'acqua dolce presente proviene dai bacini forestali e 1/5 dell'acqua dolce mondiale si trova nel Bacino del rio delle Amazzoni.

Studi recenti condotti da due fisici russi (Victor Gorskov e Anastassia Makarieva) hanno evidenziato una strettissima relazione tra foreste e disponibilità di acqua dolce[9]. Secondo questi ricercatori gli ecosistemi forestali sono "fabbriche di pioggia", che agiscono attirando l'umidità dagli oceani e trasmettendola alla terraferma anche a migliaia di chilometri di distanza. Il processo di attrazione delle correnti umide dagli oceani alle aree interne è definito *pompa biotica*, proprio per evidenziare l'azione insostituibile della vegetazione arborea [10].

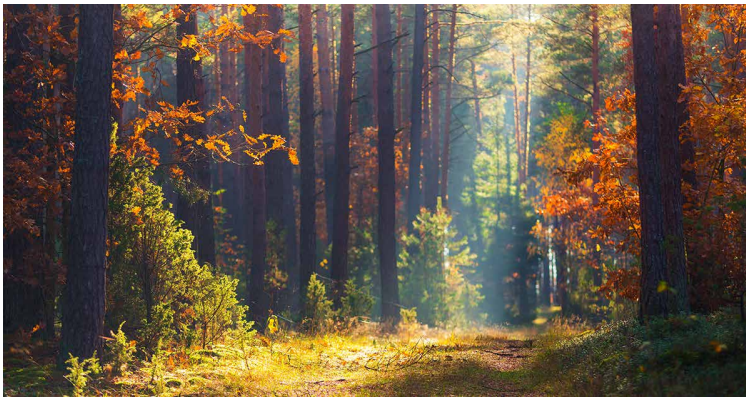


Fig. 1. Una tipica foresta ad elevato spessore ecologico. Riserva naturale integrale statale di Sasso Fratino (FC). Foto di A. Bottacci.

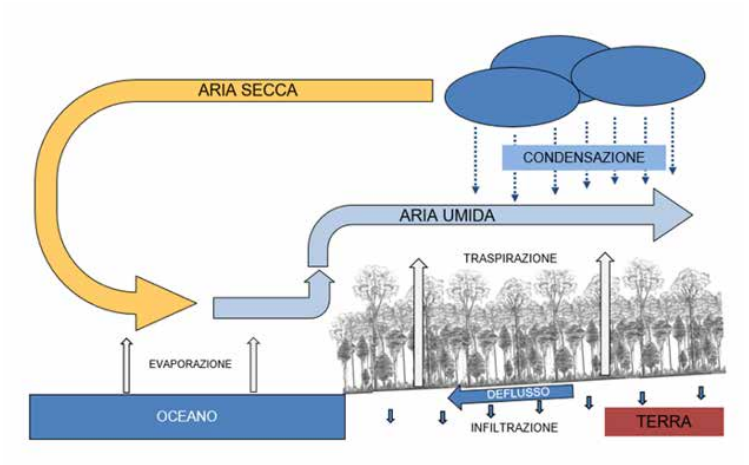


Fig. 2. Schema di funzionamento della pompa biotica. Disegno di A. Bottacci.

La pompa biotica (fig. 2) consiste in una concatenazione ciclica di processi attivati proprio dalle foreste, che inizia con la traspirazione dell'acqua assorbita dagli alberi, la quale crea una area di bassa pressione e attiva una corrente orizzontale dal mare verso l'entroterra. La corrente che proviene dagli oceani e dai mari è carica di vapore acqueo prodotto dalla evaporazione della superficie marina. La traspirazione crea anche una corrente verticale che sale verso gli strati più alti dell'atmosfera e lì condensa provocando la pioggia. L'aria secca ritorna verso l'oceano dove, ricaricata di vapore, ricomincia il ciclo.

7. Zampedri R, Zanella A, Giannini R, *Suolo, humipedon e gestione forestale*, Forest@, 20:13-19, 2023.

8. Zhang M, Wei X, *Deforestation, forestation, and water supply. A systematic approach helps to illuminate the complex forest-water nexus*. Science, 6533:990-991, 2021. DOI: 10.1126/science.abe7821

9. Makarieva AM, Gorshkov VG, *Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11:1013-1033, 2007. DOI:10.5194/hess-11-1013-2007; Makarieva AM, Gorshkov VG, *The biotic pump: condensation, atmospheric dynamics and climate,* International Journal of Water, 5 (4): 365-385, 2010, DOI:10.1504/IJW.2010.038729

10. Bottacci A, *Foreste e ciclo dell'acqua: la pompa biotica*, L'Italia Forestale e Montana/ Italian Journal of Forest and Mountain Environments, 79 (3):135-153, 2024.

Una serie di concatenazioni da aree più umide verso aree più asciutte determina il trasporto di grandissime quantità di acqua sotto forma gassosa che, in condizioni naturali, compensano il deflusso dell'acqua liquida verso il mare. Proprio per l'imponenza del trasporto di vapore acqueo, attivato dalla pompa biotica delle foreste, si parla di "fiumi volanti"[11], tra i quali quelli più importanti sono quello amazzonico, quello del bacino del Congo e quello Euro-siberiano (fig. 3).

Le foreste più evolute e complesse hanno una maggiore efficacia nell'attivare la Pompa biotica. Al contrario la semplificazione e al riduzione della copertura forestale determina una diminuzione della corrente umida, fino ad annullarsi e, addirittura, invertirsi nel caso di aree completamente deforestate[12] (fig. 4).

Due caratteristiche delle foreste complesse agiscono nell'attivazione del flusso umido: lo spessore ecologico e l'indice di area fogliare. Lo spessore ecologico attiva i flussi verticali e l'indice di area fogliare aumenta la traspirazione[13]. È importante distinguere tra evaporazione e traspirazione. L'evaporazione è un processo meramente fisico che è legato al gradiente di umidità relativa; avviene senza controllo fisiologico e prevale nelle aree nude o con scarsa copertura vegetale. La traspirazione è invece un processo fisiologico controllato attivamente dalle piante, attraverso l'apertura e la chiusura degli stomi (valvole presenti prevalentemente nelle foglie che permettono lo scambio di vapore acqueo, anidride carbonica e ossigeno)[14].

I tagli boschivi sono sempre un disturbo a carico degli ecosistemi forestali, ma quelli di tipo minerario/industriale, come il taglio raso o il taglio ceduo su vaste superfici e con mezzi meccanici pesanti, hanno un impatto decisamente distruttivo. La riduzione della copertura forestale aumenta la quota di acqua che vaporizza senza controllo, produce frammentazione degli habitat forestali, incrementa la erosione del suolo, altera il microclima (rendendo le foreste più vulnerabili anche agli incendi), disperde le riserve idriche[15].

In assenza di copertura forestale alta e continua o in presenza di foreste impoverite e semplificate, la pompa biotica si inceppa e il trasporto dell'umidità si limita ad alcune centinaia di km ed è meno costante[16].

Il grande influsso nella attivazione della pompa biotica e quindi della "produzione" di pioggia da parte delle foreste

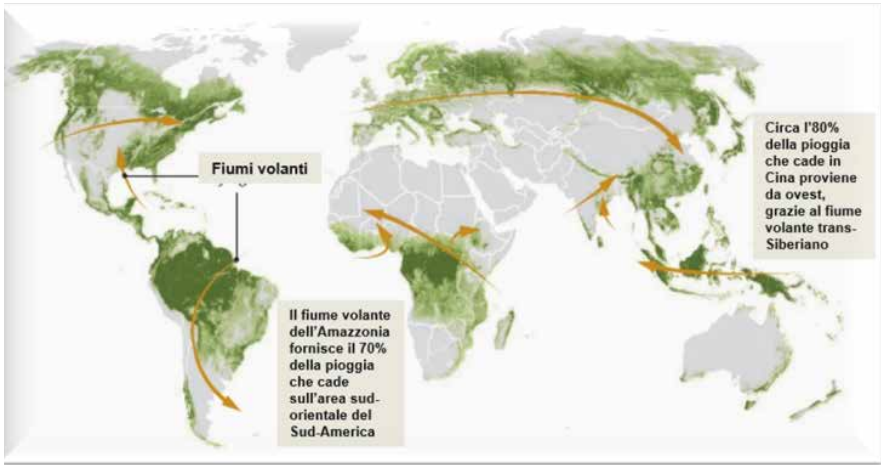


Fig. 3. I principali "fiumi volanti" del pianeta. Disegno di Pearce, 2020, modificato da Bottacci.

11. Newell RE, Newell NE, Zhu Y, Scott C, *Tropospheric rivers? A pilot study*, Geographycal Research Letters, vol 19, Issue 24: 2401-2404, 1992, doi.org/10.1029/92GL02916 org/10.1029/92GL02916

12. Sheil D, Murdiyarso D, *How forests attract rain: an examination of a new hypothesis*, BioScience, 59 (4): 341-347, 2009. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.4.12; Makarieva AM, Nefiodov AV, Nobre AD, Sheil D, Nobre P, Pokorný J, Hesslerová P, Li BL, *Vegetation impact on atmospheric moisture transport under increasing land-ocean temperature contrasts*, Heliyon, 8, e11173:1-12, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11173

13. Le Dantec V, Dufrêne E, Saugier B, *Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands*, Forest Ecology and Management, Vol 134: 71-81, 2000.

14. Jasechko S, Sharp Z, Gibson JJ, Birks JS, Yi Y, *Fawcett PJ, Terrestrial water fluxes dominated by transpiration,* Nature, 496:347–350, 2013. https://doi.org/10.1038/nature11983

15. Hakimovich HH and Alishovich KB, *The importance of reforestation in preventing desertification*, Intent Research Scientific Journal 2.7:23-29, 2023.

16. Prevedello JA, Winck GR, Weber MM, Nichols E, Siner-

complesse, con il piano delle chiome chiuso, rappresenta uno dei sistemi più efficaci per conservare l'efficienza del ciclo dell'acqua e, di conseguenza, per contrastare l'allargamento delle aree a rischio siccità[17].

In risposta agli effetti negativi dei rapidi e vasti cambiamenti climatici prodotti dall'uomo, possiamo limitare i tagli distruttivi e conservare le foreste adulte integre, ricordando il motto: *no forests, no rain, no forests* (senza foreste non c'è pioggia, senza pioggia non ci sono foreste)[18]. ●

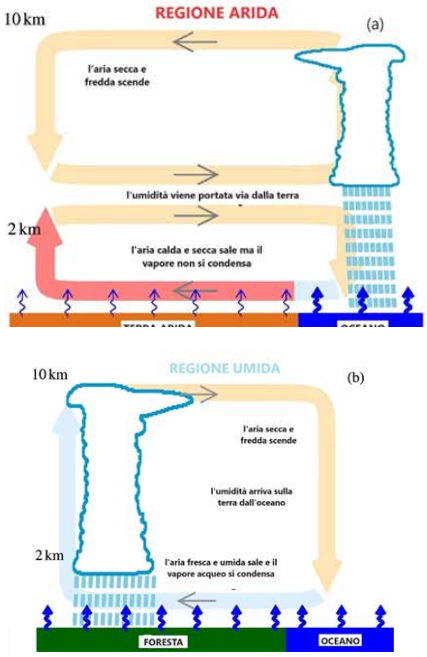


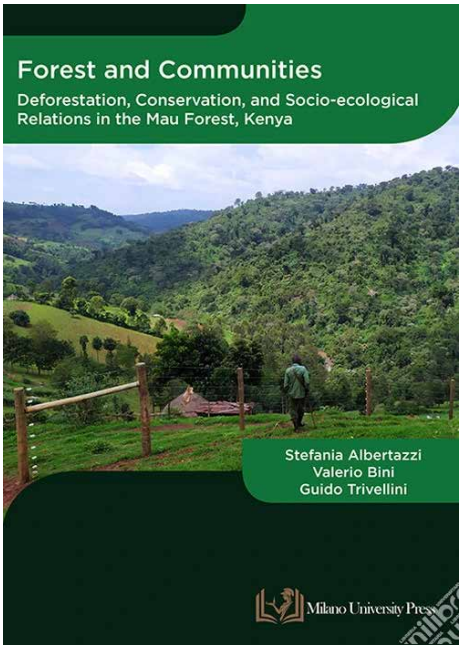
Fig. 4. Andamento del ciclo della pompa biotica in aree prive di copertura forestale e aree forestate. Illustrazione da Makarieva *et al.*, 2022, modificata da Bottacci.

vo B, *Impacts of forestation and deforestation on local temperature across the globe*, PLoS ONE 14(3):e0213368, 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213368org/10.1029/92GL02916

17. Makarieva AM, Gorshkov VG, Li BL, *Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning*. Ecol. Res., 21: 897-906, 2006. DOI:10.1007/s11284-006-0036-6

18. Pearce F, *Water makers*. Science, 368 issue 6497: 1302-1305, 2020. DOI: 10.1126/science.368.6497.1302

Stefania Albertazzi, Valerio Bini, Guido Trivellini
Forest and communities. Deforestation, conservation and socio-ecological relations in the Mau forest, Kenya
Milano University Press, 2023



Il volume analizza il caso della foresta Mau (Kenya), esplorando il processo di deforestazione occorso e le controverse e mutevoli relazioni che intercorrono tra una foresta protetta e le comunità che vivono all'interno e intorno ai suoi confini. Il volume si inserisce all'interno del dibattito internazionale sull'ecologia politica da una prospettiva prevalentemente geografica, arricchita da contributi più strettamente inerenti le scienze naturali. L'indagine si fonda su una ricerca pluriennale (2017-22) che combina metodologie qualitative e quantitative: ricerche archivistiche e presso uffici governativi, studi di campo nell'area forestale, interviste semi-strutturate, mappatura partecipata con membri delle comunità locali e telerilevamento da satellite e da drone.

Una visita alla flora del Monte Pisano e alcune considerazioni sulla sua conservazione

Valerio Lazzeri

This contribution proposes a botanical journey on the Monte Pisano, exploring its variety of environments and species. Some of the main habitats of the area are described: garrigues, evergreen and deciduous scrubs and woods, gorge formations and humid environments. Mention is also made of some rare species and those of conservation interest, which contribute to defining the botanical value of the area. In the final part, some reflections are proposed to stimulate future management. The considerations that arose were traced back to three areas: naturalness, participation and green economy.

Key words: *Monte Pisano, Vascular flora.*

Introduzione

Per molto tempo avevo guardato al Monte Pisano con un misto di attrazione e timore. Lui se ne stava lì. All'improvviso spunta dalla pianura. Ripido. Quasi come una fila di zanne che emergono dal mondo, le cui radici partono da chissà dove sotto la superficie. Non mi poteva rimanere sconosciuto. Dovevo andarci. Esplorarlo. Conoscerlo.

Il Monte Pisano è un massiccio di modesta estensione che si innalza dalla pianura pisana, separando le province di Pisa e Lucca. A nord è delimitato dal fiume Serchio che ne segna il confine con le propaggini meridionali delle Alpi Apuane, a sud-est si affaccia sulle dolci colline boscose delle Cerbaie. Le sue pendici sono frequentemente scoscese e il suo sviluppo altitudinale è relativamente importante raggiungendo 917 m s.l.m. con il Monte Serra. Da un punto di vista geologico, il Monte Pisano è di natura quasi esclusivamente silicea nella sua porzione maggiore che si estende dalle propaggini suborientali sino all'area pianeggiante che porta alla città di Lucca. Là si osservano le Quarziti del Monte Serra insieme alle rocce appartenenti alla Formazione della Verruca. In direzione nord-ovest, predominano invece le rocce di natura carbonatica.

Da un punto di vista climatico, il Monte Pisano appartiene a tre regioni: mediterranea di transizione, temperata di transizione e, infine, anche alla regione temperata. Relativamente al bioclima, questo risulta piuttosto ete-



rogeneo dal momento che nell'area si possono elencare il mediterraneo di transizione oceanico, il temperato di transizione oceanico, il temperato oceanico e il temperato oceanico-semicontinentale. Infine, per quanto riguarda i fitoclimi che caratterizzano l'area, le quote più basse, soprattutto sui versanti esposti a sud e a ovest, sono interessate dal mediterraneo oceanico di transizione. Diversamente, la maggior parte del territorio si caratterizza per il fitoclima temperato oceanico di transizione, mentre le quote più elevate vedono la presenza del fitoclima temperato oceanico e del temperato oceanico-semicontinentale (fonte: Geoportale Nazionale).

L'ampia variazione altitudinale, insieme alla variabilità geologica e climatica, oltre che alla morfologia del territorio, ha permesso la colonizzazione da parte di una flora estremamente diversificata, prettamente mediterranea a basse quote soprattutto sui versanti meridionali e occidentali, più temperata sui versanti orientali e settentrionali, oltre che alle quote più elevate. Grazie alla presenza di habitat e specie "di direttiva", è stata istituita la ZSC "Monte Pisano" (IT5120019) che copre gran parte della superficie del rilievo montuoso, mentre in precedenza, sui versanti meridionale e sudoccidentale erano state individuate cinque ANPIL e una riserva regionale.

Per quanto riguarda le indagini floristiche, il Monte Pisano, anche grazie alla sua accessibilità e alla vicinanza con alcuni centri maggiori, è stato oggetto di studi sin dagli albori della botanica moderna. Al riguardo, per una trattazione dettagliata ci si può riferire a Pierini *et al*.[1]. Proprio da questi ultimi autori è giunto il contributo di maggiore importanza allo studio della flora vascolare del Monte Pisano con la realizzazione di una lista floristica veramente completa e il ritrovamento di 97 taxa del tutto nuovi per questa area, oltre alla conferma di altre 70 entità che non erano più state osservate. Successivamente, Lazzeri[2] ha segnalato altri 35 taxa nuovi per l'area del Monte Pisano e ne ha confermati 11 non più osservati dai precedenti autori. Infine, quest'ultimo autore è in procinto di segnalare ulteriori 46 taxa, dei quali 31 nuovi e 15 confermati. Per quanto riguarda la vegetazione, essa è stata studiata da Bertacchi *et al*.[3].

Alla luce delle conoscenze floristiche aggiornate, il Monte Pisano risulta quindi un'area particolarmente importante per la biodiversità vegetale. Infatti, può vantare una ricchezza specifica al di sopra della media delle aree studiate in Toscana (dati non mostrati), oltre a un numero relativamente elevato di taxa rari, alcuni dei quali protetti, e una notevole presenza di habitat "di direttiva" la cui copertura di suolo raggiunge una percentuale particolarmente significativa. Pertanto, considerata l'importanza dell'area in questione, lo scopo del presente lavoro è quello di condurre chi legge in un immaginario viaggio botanico nel Monte Pisano.

Il viaggio

Quando decisi di visitare il Monte Pisano, lo conoscevo solo per quelle volte in cui l'avevo attraversato per recarmi a Lucca in auto. Nei miei ricordi vi erano quegli ambienti che si osservano da San Giuliano. Pendii scoscesi, terrazzamenti, rocce calcaree ovunque, olivi, garighe. Fu facile per me scegliere di recarmi proprio in quella zona. Fermai l'auto poco prima del tunnel che porta nella provincia di Lucca. Iniziai a camminare. In quei contesti le rocce carbonatiche affiorano selvagge. Il suolo si accumula dove può. E le piante devono attuare tutta una serie di strategie per adattarsi a quelle condizioni estreme. Sono le garighe. La rocciosità, la mancanza di suolo, la natura calcarea del substrato e la scarsità d'acqua nella stagione secca sono tutti fattori che determinano una forte selezione nei confronti della flora vascolare. La componente erbacea è notevole. Tra le erbacee, le specie che solitamente non vivono

1. Pierini B, Garbari F, Peruzzi L, *Flora vascolare del Monte Pisano (Toscana nord-occidentale)*, Informatore Botanico Italiano, 41: 147-213, 2009.

2. Lazzeri V, *Contributo alla flora vascolare del Monte Pisano*, Quaderni del Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, 28:53–64, 2023.

3. Bertacchi A, Sani A, Tomei PE, *La vegetazione del Monte Pisano*, Pisa, Felice, 2004.

più di una stagione sono numerose. Il motivo è chiaro: superano la stagione secca come semi. Per descrivere questi ambienti in fitosociologia si usa la parola "degradazione". Generalmente essa assume un significato negativo. In questo caso no. Qui vuol semplicemente dire che questi contesti sono il risultato della regressione di un ambiente più evoluto come il bosco a uno che nella serie di vegetazione occupa una posizione meno evoluta. È bene o è male? Per la biodiversità può essere un bene. L'assenza di boschi e macchie consente alle specie più eliofile di poter prosperare. E qui la biodiversità è notevole. Magari a un occhio inesperto questi ambienti potrebbero risultare poveri di piante, quasi predesertici. Invece ospitano quasi un quarto delle specie di maggior interesse della flora vascolare del Monte Pisano. Al riguardo, una tra le tante specie notevoli che caratterizzano



Paesaggio vegetale del Monte Pisano: gariga su calcare.



Paesaggio vegetale del Monte Pisano: vegetazione silicola influenzata dal passaggio del fuoco.



Paesaggio vegetale del Monte Pisano: contatto catenale tra pinete e castagneti.



Paesaggio vegetale del Monte Pisano: contatto catenale tra castagneti e leccete.

questi ambienti si trova scendendo dal versante settentrionale del Monte San Giuliano. Fiorisce in primavera. Si tratta di una fabacea perenne dalle foglie pennatocomposte e la corolla violacea, *Astragalus muelleri* Steud. & Hochst. subsp. *etruscus* Peruzzi, Gestri & Pierini. È un'entità che è stata descritta recentemente e si osserva anche sul Monte Pisano[4]. Questo contesto geografico, insieme a poche altre località toscane, rappresenta l'areale italiano di quella che un tempo era indicata come una specie dalla distribuzione estremamente disgiunta. Il suo areale è centrato sui Balcani. Importante è anche la presenza degli arbusti, cioè di quelle piante che presentano una forma biologica che va dalle camefite alle nanofanerofite (alberi nani). Tra queste spiccano per bellezza l'euforbia spinosa (*Euphorbia spinosa* L.) con i suoi cuscini dalle belle tonalità di verde e giallo che colonizzano le rocce. Ma anche i cisti con i loro vistosi fiori. Notevole è anche la presenza di orchidee che annoverano sia specie comuni, sia più rare a livello regionale. Ed essendo queste ultime piante in cui l'ibridazione è frequente, gli orchidologi hanno rinvenuto un elevato numero di entità ibride nell'area del Monte Pisano. La componente arborea è per lo più minoritaria in termini di superficie occupata. Qua e là compaiono, sì, degli alberi, ma non raggiungono altezze importanti. Sono tutte specie ben adattate a queste condizioni ambientali. Dove era stato coltivato in passato persiste l'olivo, e in certe zone è anche riuscito a naturalizzarsi andando a costituire dei microboschi radi e luminosi. Da un punto di vista conservazionistico, le garighe su calcare trovano un riconoscimento nella normativa europea e italiana. Sono infatti attribuite all'habitat prioritario "di direttiva" 6110* (Formazioni erbose rupicole calcicole o basofile dell'*Alysso-Sedion albi*). Ambienti simili si trovano anche su substrato siliceo, ad esempio lungo la salita alla Rocca della Verruca, per quanto presentino una composizione floristica almeno in parte diversa. Tra le rocce e le aree sassose compaiono anche dei piccoli prati dove la presenza di suolo consente alle specie non esclusivamente casmofitiche [da χάσμα (*chasma*) = fessura, crepa, spaccatura e Φυτόν (*phytón*) = pianta] di poter germinare e crescere. Anche questi "francobolli" verdi spesso risultano particolarmente biodiversi, oltre a ospitare specie importanti. Per quanto spesso di limitata estensione, sono comunque inquadrabili nell'habitat, tra l'altro, prioritario 6220* (Percorsi substeppici di graminacee e piante annue dei *Thero-Brachypodietea*).

A seconda della morfologia e dell'esposizione, le specie arboree possono trovare un suolo leggermente più profondo e l'umidità persiste un po' più a lungo. Là, queste specie riescono a consociarsi in vere e proprie macchie. In tali ambienti la competizione esercitata dalle specie legnose di taglia media risulta troppo forte per le erbacee e gli arbusti più piccoli. Questi si trovano costretti a rifugiarsi nei pertugi lasciati liberi o al margine. L'effetto è un drastico calo della biodiversità vegetale. Sono quindi ambienti meno importanti dal punto di vista ecologico? Tutt'altro. Con le loro



Astragalus muelleri* subsp. *etruscus

4. Peruzzi L, Gestri G, Pierini B, *Morphological variation in Astragalus muelleri (Fabaceae) from Balkan and Italian populations*, Flora Mediterranea 24:139-144, 2014.

copiose e spesso anche lunghe fioriture, molti dei piccoli alberi che dominano queste cenosi giocano un ruolo fondamentale nella sopravvivenza dell'entomofauna che basa la propria dieta sul nettare e sul polline. Nel mezzo dei piccoli alberi può comparire anche la sughera (*Quercus suber* L.), che con la sua corteccia ignifuga può resistere a un incendio non troppo violento. Invece, soprattutto dove è passato il fuoco più intenso, spesso compaiono delle vere e proprie muraglie verdi costituite dalle cosiddette pirofite [dal greco πῦρ, πυρός (*pyr*, *pyrós*), fuoco e φυτόν (*phytón*), pianta]. Sono specie la cui germinazione viene stimolata dalle alte temperature. Tra queste vi è il ginestrone (*Ulex europaeus* L. subsp. *europaeus*; Fabaceae). Quest'ultima è probabilmente la specie più spinosa della flora autoctona italiana. Praticamente non ha foglie, ma queste sono sostituite dalle robuste spine che ricoprono tutto il fusto. Davvero una pianta "orrida" nel senso latino del termine. Ma la sua fioritura è visibile da chilometri. Colora di giallo le ampie superfici che colonizza già a partire dagli ultimi giorni dell'anno per spingersi fino a maggio, e forse anche oltre. Altre specie, come le eriche (*Erica arborea* L. ed *E. scoparia* L. subsp. *scoparia*; Ericaceae), sono in grado di ricacciare dalla base dopo che il fuoco è passato. Questi ambienti non vanno confusi con la vera e propria macchia mediterranea che ha una composizione floristica e un'ecologia leggermente diverse. Tra l'altro, anch'essi rientrano nel concetto di un habitat, il 4030 (Lande secche europee). Al loro margine è possibile osservare due graziosi arbusti come il brugo [*Calluna vulgaris* (L.) Hull; Ericaceae] e la lavanda selvatica (*Lavandula stoechas* L. subsp. *stoechas*; Lamiaceae). Le macchie sono in contatto seriale, nel senso che precedono nella serie della vegetazione alcune formazioni boschive più evolute come i boschi di sempreverdi [le leccete (habitat 9340: Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*) e i lembi di sugherete (9330: Foreste di *Quercus suber*)] e le foreste di conifere, rappresentate dalle ampie pinete a pino marittimo. Anche in questi casi la biodiversità vegetale risulta drasticamente ridotta rispetto agli ambienti più luminosi. Però questi boschi giocano un ruolo chiave per l'ecologia del Monte Pisano. Danno rifugio e nutrono una buona parte della biodiversità animale, oltre a stabilizzare il suolo. Anche il pino marittimo (*Pinus pinaster* Aiton subsp. *pinaster*; Pinaceae) è una specie che può avvantaggiarsi in caso di un incendio. E soprattutto nelle pinete, grazie al fatto di non costituire un tipo di formazione estremamente densa, il sottobosco è spesso lussureggiante. Vi si possono trovare specie tutt'altro che comuni, come l'agrifoglio (*Ilex aquifolium* L., Aquifoliaceae), che in determinate situazioni possono anche essere protette a livello regionale. Altri generi più diffusi che costituiscono il sottobosco sono comunque molto importanti. Questo è il caso dei rovi, specie mellifere per eccellenza che nutrono gli insetti in estate, proprio quando nei contesti mediterranei le fioriture cominciano a scarseggiare. Tale ruolo è svolto anche dall'edera (*Hedera helix* L. subsp. *helix*; Araliaceae). Fornisce il nettare alle api a fine estate e nutre l'avifauna in inverno con i suoi frutti. Infine, ancora nell'ottica della difesa dell'entomofauna, i pini marittimi concorrono al suo nutrimento grazie alla melata prodotta da alcuni insetti. Ad onor del vero, va anche detto che le pinete del Monte Pisano probabilmente derivano dall'antica introduzione da parte dell'uomo[5]. Però è innegabile che ormai rappresentino un elemento caratteristico del paesaggio vegetale di questo massiccio. Quando si transita al loro interno, non dubito che ci si stupisca per l'altezza di quei pini. In generale, il grado di naturalità di tali pinete è da considerarsi relativamente elevato, sia grazie alla riproduzione spontanea da seme del pino marittimo, sia alla naturalità del sottobosco. In regione tali formazioni sono state attribuite all'habitat 9540 (pinete mediterranee di pini mesogeni endemici). Tornando alle leccete, alcune presenti nel Monte Pisano sono tra quelle che raggiungono le altitudini più elevate in Toscana. In una delle mie pri-

5. Garbari F, *Viaggio al Monte Pisano: un'escursione botanica*, Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologiae 81:233-238, 2004.

me escursioni stavo percorrendo a piedi la strada asfaltata sotto al Monte Cascetto e, sorpresa, vi erano lecci su entrambi i lati. Eppure siamo quasi a ottocento metri sul livello del mare. Avevo già visto qualcosa del genere, seppur a quote leggermente inferiori, sulle Pizzorne e lungo la strada che porta a Corfino. Io che sono più "mediterraneo", quasi non credevo al fatto di trovare una lecceta interessante.

Laddove le condizioni climatiche sono più fresche, le specie arboree sempreverdi vengono sostituite dalle caducifoglie. Nel Monte Pisano i boschi decidui compaiono a quote più elevate nei versanti occidentale e meridionale, mentre nelle forre si insinuano più in basso. Sui versanti settentrionale e orientale, invece, partono da quote ben più basse. In larga parte, questi boschi sono dominati dal castagno (*Castanea sativa* Mill.; Fagaceae), anch'esso una specie introdotta in epoche antiche dall'uomo a scopo alimentare e per il legno. Dove il castagneto ha assunto una fisionomia caratterizzata da una certa naturalità, è possibile attribuirlo all'habitat 9260 (Boschi di *Castanea sativa*). Occupando vaste superfici che si caratterizzano per profili altitudinali estremamente ampi, diversa esposizione e maggiore o minore umidità, i castagneti del Monte Pisano sono fortemente eterogenei. Anche laddove vi è una forte presenza del carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.; Betulaceae), questi rappresentano delle formazioni più luminose rispetto alle foreste sempreverdi, almeno finché il nuovo fogliame non viene prodotto. In alcuni casi ciò consente l'esistenza di un sottobosco più variegato e non limitato alle sole specie sciafile [da σκιά (*skia*, ombra) e da φίλος (*philos*, amico, che ama)]. Al loro interno, ma soprattutto al margine, si rinvengono specie erbacee e arbustive che in regione più comunemente si osservano sull'Appennino e sulle vicine Alpi Apuane a quote anche ben maggiori. Una tra queste è il mirtillo (*Vaccinium myrtillus* L.; Ericaceae). Ammetto di essere rimasto piuttosto stupito di vedere un nutrito sottobosco di questo piccolo arbusto a non più di seicento metri di quota. Ero abituato a vederlo costituire i vaccinieti (insieme a un'altra specie di mirtillo) nell'alto Appennino. Tra le molte specie importanti che si trovano nei castagneti del Monte Pisano, *Lysimachia nemorum* L. è certamente una delle più rare a livello regionale. Una domenica mi capitò di trovarmi a percorrere un sentiero proprio in un castagneto. Feci caso a una felce – non sono per niente uno specialista di felci, né mi attraggono come le piante a fiore – ma comunque sembrava avere qualcosa di particolare. La studiai un po'. Ero certo di non averla mai vista. In seguito riuscii ad arrivare a un'identificazione che mi parve verosimile: *Oreopteris limbosperma* (All.) Holub (felce montana; Thelypteridaceae), al limite del suo areale in Italia. Mi dette soddisfazione. A proposito, la pteridoflora [da πτερίς, *pteris*, parola greca utilizzata per indicare le felci] del Monte Pisano è notevole. D'altronde, qui si hanno condizioni pedoclimatiche estremamente diversificate. Per questo, si osservano sia specie microterme, sia altre tipiche di contesti più mediterranei. E non credo che sia solo una questione di clima. Ritengo che anche la geografia abbia giocato un ruolo chiave. Infatti, il Monte Pisano confina con le propaggini meridionali delle Alpi Apuane. Non è inverosimile supporre che tra queste due aree nel corso dei millenni sia avvenuto uno scambio di biodiversità vegetale in funzione delle condizioni climatiche. Proprio tra alcune peculiari felci del Monte Pisano, gli *Ophioglossum*, sono stati individuati tre nuovi taxa ibridi: *Ophioglossum* ×*giovanninii* Peruzzi, Pierini, Magrini, Marchetti & Viane, *O.* ×*pierinii* Peruzzi, Magrini, Marchetti & Viane e *O.* ×*pseudoazoricum* Peruzzi, Pierini, Magrini, Marchetti & Viane[6].

Spesso in contatto catenale con i castagneti si osservano i boschi di ontano nero [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.; Betulaceae] dell'habitat prioritario 91E0* [Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)]. Si tratta di formazioni che

6. Peruzzi L, Pierini B, Magrini S, Andreucci A, Marchetti D, Viane R, *Three new hybrids of Ophioglossum (Ophioglossaceae) from Monte Pisano, Tuscany (Central Italy)*, Plant Biosystems 149(4):737-746, 2015.

qui generalmente riescono a permanere solo lungo gli impluvi e nelle poche aree umide planiziali.
Il Monte Pisano è, a suo modo, anche un contesto dove la presenza dell'acqua può determinare la sopravvivenza di specie vegetali legate agli ambienti umidi. Sono questi ultimi che infatti ospitano la più alta percentuale di specie importanti della sua flora vascolare. Queste cenosi possono presentarsi sui versanti più caldi e siccitosi sotto forma di piccoli specchi d'acqua dalla durata effimera. Spesso ospitano specie dal ciclo vitale altrettanto breve (habitat 3130: acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, con vegetazione dei *Littorelletea uniflorae* e/o degli *Isoëto-Nanojuncetea*). Oppure occupano una delle poche aree pianeggianti del Monte Pisano, quella tra Massa Pisana e Pontetetto dove insiste un'area umida di tipo planiziale, in gran parte boscata, che ospita taxa estremamente interessanti. Infine, altri si caratterizzano per la presenza di alcuni muschi peculiari del genere *Sphagnum*, e in quel caso si parla di sfagnete dell'habitat 7150 (Depressioni su substrati torbosi del *Rhynchosporion*). Questi rari ambienti nel Monte Pisano si trovano in sole due località, a San Lorenzo a Vaccoli e Massa Macinaia, ma vi crescono ancora alcune tra le specie più rare di Toscana: *Drosera intermedia* Hayne, della quale il Monte Pisano rappresenta l'unica località rimanente a livello regionale, *D. rotundifolia* L. e *Rhynchospora alba* (L.) Vahl, anch'essa probabilmente presente in Toscana ormai solo nell'area del Monte Pisano.

Considerazioni per una futura gestione

La notevole ricchezza di taxa rari a diversi livelli, locale, regionale, nazionale e globale, alcuni dei quali ad oggi risultano tutelati, oltre alla presenza di habitat protetti, richiede una gestione del territorio orientata in primo luogo alla conservazione di questi elementi. Le considerazioni che seguono non intendono sostituire le disposizioni vigenti o gli strumenti di pianificazione già esistenti, ma hanno il solo scopo di suggerire una base per un'eventuale discussione sulla futura gestione di questa area. In estrema sintesi, tali considerazioni possono essere raggruppate al di sotto di tre parole chiave: naturalità, partecipazione ed economia verde.

Naturalità

È possibile orientare la gestione del patrimonio boschivo del Monte Pisano verso un approccio più conservativo, che favorisca il mantenimento dei processi naturali e riconosca nel bosco lasciato evolvere, con le sue diverse componenti – come il sottobosco e il legno morto – una ricchezza in sé? D'altro canto, mi domando se il modello economico, secondo il quale il bosco viene visto quasi esclusivamente come una fonte di legname, sia al passo con le sfide che il contesto attuale e le evidenze scientifiche ci propongono.
Relativamente all'habitat 4030, pur non caratterizzandosi per un'elevata biodiversità vegetale, esso risulta un fornitore di almeno un servizio ecosistemico fondamentale per l'ecologia di tutto il comprensorio. Infatti, a esso è legata la nutrizione degli insetti impollinatori in periodi caratterizzati da scarsità di fioriture soprattutto grazie alla cospicua presenza di *Ulex europaeus* L. subsp. *europaeus*[7], ed *Erica* spp. Pertanto, appare necessario almeno porsi la domanda su quali benefici possa realmente comportare lo sfalcio di tale habitat, oppure se anche in questo caso una gestione non invasiva possa apparire più conveniente. Poiché molte delle specie indicatrici degli habitat elencati nell'Allegato I della direttiva 92/43/CEE appartengono al sottobosco, la conservazione di questi habitat è, di fatto, inseparabile dalla conservazione del sottobosco stesso. Di conseguenza, anche in considerazione dei servizi ecosistemici forniti da questa componente[8], credo che sia opportuno porci l'interrogativo

7. Bowman G, Tarayre M, Atlan A, *How is the invasive gorse Ulex europaeus pollinated during winter? A lesson from its native range*, Plant Ecology, 197:197-206, 2008.

8. Zhou GY; Lucas-Borja ME, Eisenhauer N, Eldridge DJ, Liu S, Delgado-Baquerizo M, *Understorey biodiversity supports multiple ecosystem services in mature Mediterranean forests*, Soil Biology and Biochemistry, 172:108774, 2022; Haritika, Negi AK, *The underestimated role of understory vegetation dynamics for forest ecosystem resilience: A review*, Plant Ecology, 226:763-787, 2025.

se eventuali interventi di sfalcio e diradamento comportino dei reali benefici ecologici.
Per quanto riguarda la componente floristica, un contributo potrebbe provenire dalla mappatura delle specie più importanti. I dati distributivi e fenologici della flora e dei taxa notevoli potrebbero fornire delle utili indicazioni sulla gestione del territorio in funzione della conservazione di tali entità. Per fare degli esempi, in base alla presenza di determinate specie potrebbe essere valutato se evitare lo sfalcio dei margini stradali, oppure se eseguirlo a disseminazione già avvenuta.

Partecipazione

Coinvolgere la cittadinanza nei vari livelli della gestione di un'area naturale, con particolare riferimento alle associazioni che si occupano di questioni ambientali e a coloro che si possono considerare degli esperti locali, può comportare importanti benefici. Anzitutto è verosimile che contribuisca a ridurre i possibili conflitti che potrebbero scatenarsi a seguito della mancata presa in considerazione di determinate istanze. In secondo luogo il coinvolgimento attivo aumenta il rispetto delle regole di conservazione. Inoltre, può favorire processi quali l'apprendimento sociale, il senso di appartenenza e la custodia ambientale. Oltre alla cittadinanza, altri soggetti chiave risultano i ricercatori e alcuni portatori di interessi come coloro che svolgono attività economiche sul territorio ma a basso impatto ambientale. La partecipazione può realizzarsi attraverso consultazioni e tavoli periodici. Tra i possibili benefici dell'esercizio di forme attive di cittadinanza anche in fase decisionale, vi possono essere lo sviluppo di migliori strumenti di gestione, una maggiore accettazione delle decisioni, oltre alla costruzione della fiducia nei confronti delle istituzioni. Per ragioni simili, la cittadinanza può rivestire un ruolo importante in azioni di monitoraggio sulla conservazione di habitat e specie. In quest'ottica, l'organizzazione di eventi divulgativi come convegni scientifici e *bioblitz* può essere considerata uno strumento utile al fine di creare una comunità attorno a un'area naturale.

Economia verde

I boschi sono ben conosciuti per fornire tutta una serie di servizi ecosistemici imprescindibili. E per tali servizi è stata anche proposta una quantificazione in termini monetari[9]. È quasi superfluo ricordare come, dopo il taglio, debbano trascorrere molti anni prima che alcuni dei servizi ecosistemici forestali possano essere nuovamente disponibili. In Toscana sono già previsti strumenti di sostegno per impegni silvo-ambientali volontari che vanno oltre le normali pratiche di gestione forestale. Si potrebbe valutare se e come affiancare a questi strumenti forme di riconoscimento economico per i proprietari che scelgono impegni di conservazione più incisivi, valorizzando i servizi ecosistemici mantenuti dal bosco quando non sono legati alla produzione di legname.
L'elevata naturalità di un territorio, aumentandone il valore ricreativo, può anche stimolare quelle attività economiche a basso impatto ambientale come l'escursionismo con guide ambientali e certe forme di turismo rispettoso per l'ambiente.



9. Taye F A, Folkersen M V, Fleming C M, Buckwell A, Mackey B, Diwakar K C, Le D, Hasan S, Saint Ange C, *The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis*, Ecological Economics, 189:107145, 2021.

Il Monte Pisano come sistema a elevata connettività ecologica

Maurizio Baglioni

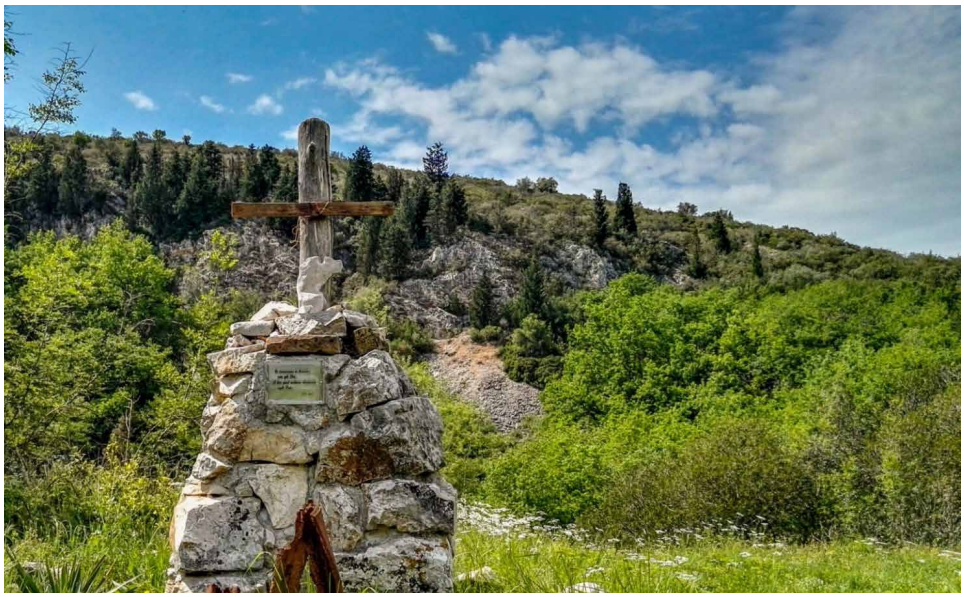
The Monte Pisano range is a hilly system located between the northern Apennines, the Apuan Alps and the Tyrrhenian coastal plain. Due to its geographical position, it may contribute to ecological connectivity between different environments. This paper explores the potential role of the Monte Pisano area in regional ecological connectivity, focusing on wildlife and the presence of the Italian wolf (*Canis lupus italicus*).
Key words: *Monte Pisano, Ecological connectivity, Italian wolf.*

Monte Pisano: un territorio di connessione ecologica

Tra Pisa e Lucca si estende una dorsale collinare che, pur non presentando le caratteristiche dei sistemi montuosi maggiori (massima altitudine 917 m s.l.m.), occupa una posizione geografica di interesse nel contesto della Toscana nord-occidentale. I Monti Pisani si collocano infatti tra la valle del Serchio e le Alpi Apuane a nord, i rilievi appenninici a est e la pianura costiera tirrenica a sud-ovest. Tale posizione geografica suggerisce un loro potenziale ruolo nella connessione tra sistemi montani, ambienti collinari e costieri: un sistema territoriale che – nel quadro dell'ecologia del paesaggio – viene analizzato in relazione alla capacità di contribuire alla continuità ecologica e alla dispersione delle specie.

La *connettività ecologica* rappresenta un elemento centrale nella conservazione della biodiversità.

I *corridoi ecologici* sono strutture del paesaggio che possono facilitare il movimento degli organismi tra habitat separati e contribuire al mantenimento dei flussi genetici[1]. La loro efficacia dipende da diversi fattori, tra cui la continuità degli habitat, la permeabilità del paesaggio e il grado di frammentazione[2].



1. Taylor P *et al.*, *Connectivity is a vital element of landscape structure*, Oikos, 68:571-573, 1993; Crooks K, Sanjayan M, *Connectivity Conservation*, Cambridge University Press, 2006.

2. Bennett A, *Linkages in the Landscape*, IUCN, 2003.

Fauna selvatica dei Monti Pisani e connettività ecologica: il caso del lupo nella Toscana nord-occidentale

Sul Monte Pisano l'orografia accidentata e la diversità di habitat favoriscono la presenza di una fauna relativamente ricca. Senza dilungarci sull'elenco totale delle specie presenti, sottolineiamo comunque che la componente avifaunistica comprende in larga parte specie forestali silvicole, ma anche rapaci sia diurni che notturni; anche la presenza di numerosi rettili e anfibi contribuisce ad accrescere la biodiversità complessiva del sistema.

Tra i mammiferi sono presenti specie diffuse nel contesto appenninico e collinare, tra cui cinghiale (*Sus scrofa*), volpe (*Vulpes vulpes*), tasso (*Meles meles*), faina (*Martes foina*), donnola (*Mustela nivalis*) e istrice (*Hystrix cristata*). Poi, negli ultimi decenni, il lupo appenninico (*Canis lupus italicus*) ha progressivamente ricolonizzato gran parte dell'Italia centro-settentrionale[3] e il Monte Pisano non fa eccezione.

Il lupo svolge un ruolo rilevante negli ecosistemi forestali in quanto predatore apicale. In Italia la sua dieta è costituita prevalentemente da ungulati selvatici, tra cui il cinghiale (*Sus scrofa*), con variazioni legate alla disponibilità di prede[4].

La predazione risulta generalmente selettiva e tende a coinvolgere individui più vulnerabili. Questo comportamento può influenzare la struttura delle popolazioni di prede e le loro dinamiche comportamentali. Nel sistema territoriale che comprende Monte Pisano, Alpi Apuane, Valle del Serchio e aree limitrofe (compreso il Parco Regionale di Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli), la presenza del lupo è documentata a scala regionale. Studi condotti anche nell'ambito del Dipartimento di Biologia dell'Università di Pisa hanno contribuito alla comprensione dell'ecologia dei grandi carnivori in questi contesti.

Considerando la dimensione dei territori occupati dai branchi di lupo nell'Appennino settentrionale, è possibile interpretare il sistema Monti Pisani-Apuane-valle del Serchio come un mosaico di habitat connessi che si comportano da corridoi ecologici. Le Alpi Apuane rappresentano un'area di presenza consolidata, mentre la valle del Serchio costituisce un asse di collegamento tra sistemi montani; il Parco di San Rossore, Migliarino, Massaciuccoli ha un nucleo stabile di 8-10 esemplari nella Tenuta di San Rossore, a cui si vanno ad aggiungere piccoli nuclei nella Tenuta di Coltano e nella Tenuta di Migliarino; per quanto riguarda il Monte Pisano non sono attualmente disponibili studi sistematici pubblicati che definiscano con precisione la distribuzione locale del lupo. Tuttavia la configurazione del paesaggio suggerisce che l'area possa essere utilizzata da individui in dispersione o, potenzialmente, da unità familiari.

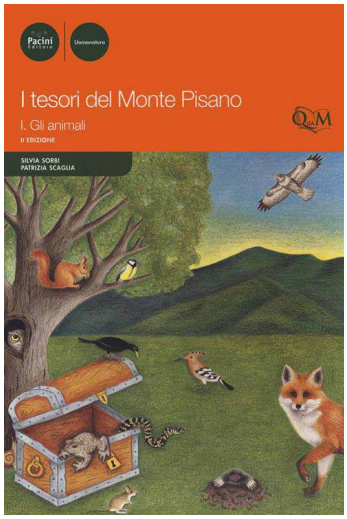
Ecco perché, sotto questo punto di vista, i Monti Pisani possono essere considerati come un'area importante di transizione e connessione tra ambienti differenti e – sebbene tale interpretazione richieda conferme attraverso studi specifici sul movimento degli individui – il sistema territoriale composto da questo complesso rilievo montuoso è sicuramente un caso di interesse per lo studio della connettività ecologica nella Toscana nord-occidentale.

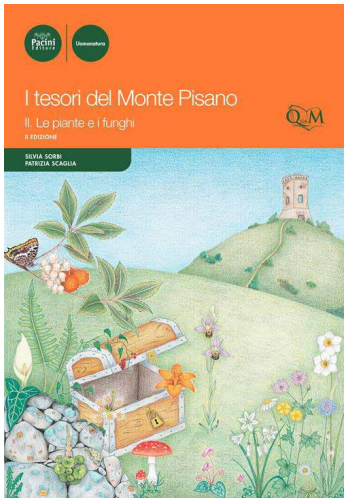


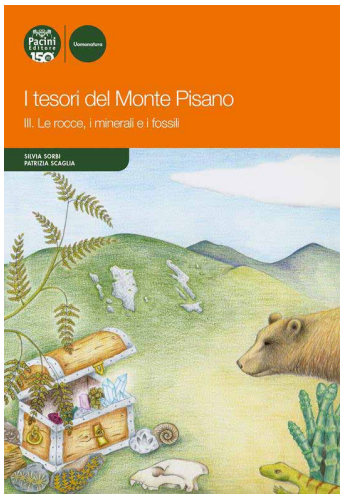
3. Chapron G *et al.*, *Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes*, Science, 346:1517-1519, 2014; ISPRA, *Rapporto sullo stato di conservazione del lupo in Italia*, 2022.

4. Boitani L, Ciucci P, *Il lupo: biologia e gestione nelle aree appenniniche*, Bologna, Il Mulino, 2004.

Silvia Sorbi, Patrizia Scaglia
I tesori del Monte Pisano
Pacini editore, 2012-2025







I tesori del Monte Pisano è un progetto editoriale di Silvia Sorbi e Patrizia Scaglia, pubblicato da Pacini Editore.
Il progetto ha l'obiettivo principale di valorizzare le aree naturali protette del Monte Pisano e di contribuire alla formazione di una cittadinanza attiva e responsabile nei confronti delle problematiche ambientali. Consiste in una trilogia di *gioco-guide* dedicata alle ricchezze naturalistiche del Monte Pisano. Il primo volume (seconda edizione 2018) è dedicato agli animali, il secondo (seconda edizione 2019) alle piante e ai funghi, il terzo (2025) alle rocce, ai minerali e ai fossili.
Le gioco-guide sono realizzate con un linguaggio scientifico estremamente chiaro e semplice, in modo tale da essere accessibili a tutti: uno strumento pratico e utile per promuovere e diffondere la conoscenza, la tutela e il rispetto degli ambienti naturali. Inoltre, racchiudono al loro interno un gioco per esplorare divertendosi il Monte Pisano e per stimolare l'interesse e le capacità di osservazione, promuovendo un apprendimento attivo attraverso il contatto diretto con la natura. L'uso di illustrazioni, simboli e colori ha permesso di rendere la guida più accattivante ed immediata e di creare vari livelli di lettura, rendendola così adatta a diverse fasce d'età. La guida può essere semplicemente sfogliata, anche da bambini in età prescolare, per apprezzarne le illustrazioni. Può essere rapidamente consultata soffermandosi sui simboli e sulle parole colorate per recepire con immediatezza le principali informazioni relative alle specie osservate. Può essere letta attentamente come strumento di intrattenimento e fonte di conoscenza. Ma la vera novità è proprio l'idea di un *gioco a punti* ideato per stimolare il lettore e per sfidarlo all'esplorazione del Monte. Nella gioco-guida ad ogni animale e ad ogni traccia è assegnato un punteggio diverso a seconda della difficoltà dell'avvistamento. Una semplice passeggiata può diventare così un gioco di osservazione, scoperta, contatto e anche un'occasione per condividere un'esperienza con genitori, nonni e amici e per socializzare con le persone che si incontrano.
Le gioco-guide sono state utilizzate come strumento educativo anche nelle attività del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa che ha realizzato, a corredo delle pubblicazioni, due mazzi di carte da gioco illustrate con gli animali, le tracce, le piante e i funghi decritti nelle guide. Abbinando i mazzi di carte alle guide è possibile realizzare giochi per scoprire divertendosi la natura del Monte Pisano. Le gioco-guide e le carte da gioco sono in vendita presso il bookshop del Museo.

Una foglia di salvia

Testo e foto di Sauro Donati



La fotografie mostrano la pagina superiore e la pagina inferiore di una foglia di salvia (*Salvia officinalis*), fotografata con diversi ingrandimenti lineari indicati sopra le singole immagini. Per le prime due immagini è stata utilizzata una Nikon D300 con 50mm, le successive sono state realizzate allo stereo microscopio.

Si chiama salvia comune – e in effetti è così comune nei nostri orti, terrazzi, un ingrediente della nostra cucina quotidiana. Si tratta di una piccola pianta perenne erbacea, appartenente alla famiglia delle Lamiacee. Qui ne vediamo le foglie *cauline* (posizionate nella parte aerea dello stelo a due a due a disposizione opposta). La consistenza delle foglie è feltrosa al tatto ed hanno un colore verde-grigiastro e un profumo di caratteristica freschezza.
Le fotografie della foglia di salvia (le prime quattro del fronte della foglia, le altre del retro) ne mettono in evidenza la struttura profonda.

Pagina superiore

1× Si osserva la tipica foglia oblunga, con margine intero e superficie fortemente rugosa (bullata). Il colore grigio-verde è dovuto soprattutto alla fitta copertura di peli (tricomi), caratteristica delle Lamiaceae.

4× Inizia a vedersi la morfologia dell'epidermide. La superficie non è liscia ma costituita da rilievi delimitati dalle nervature secondarie. Questa conformazione aumenta la superficie fotosintetica e contribuisce anche alla gestione dell'acqua.

12× Qui compare chiaramente il mosaico delle cellule epidermiche. Le pareti cellulari hanno un andamento sinuoso, una caratteristica tipica delle foglie mature. La rugosità che a occhio nudo appare come semplice "grana" è in realtà l'insieme di migliaia di cellule epidermiche.

24× Qui iniziano a distinguersi due elementi importanti: numerosi *tricomi* (i peli bianchi); probabilmente alcune *ghiandole secretrici*. La salvia è ricchissima di tricomi ghiandolari, responsabili della produzione degli oli essenziali (tujone[1], cineolo, canfora, borneolo ecc.) Sono proprio questi tricomi che, rompendosi quando si strofina la foglia, liberano il tipico profumo.

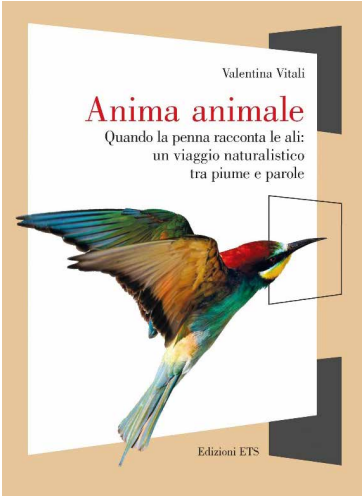
Pagina inferiore

48× Qui compare un ospite inatteso. L'insetto è quasi certamente un *afide* (Aphididae). Gli elementi che lo fanno riconoscere sono: corpo piriforme; colore verde-giallastro; antenne relativamente corte; apparato boccale pungente-succhiante. Probabilmente sta succhiando la linfa elaborata del floema. È curioso perché la salvia contiene numerosi composti aromatici che scoraggiano molti insetti, ma gli afidi riescono comunque a colonizzarla.

96× Qui si distinguono molto bene diversi tipi di tricomi. Si vedono: tricomi semplici, lunghi e filamentosi; piccoli tricomi ghiandolari con una testa tondeggiante. Le piccole sfere trasparenti sembrano proprio le teste delle ghiandole secretorie contenenti oli essenziali. ●

1. Il tujone è un olio che ad alte dosi è molto nocivo. Può provocare forti malesseri e convulsioni. Non nel caso di dosi da cucina, naturalmente.

Valentina Vitali
ANIMA ANIMALE
Quando la penna racconta le ali: un viaggio naturalistico tra piume e parole
Finestre. I libri di Naturalmente Scienza, ETS, Pisa, 2026



"Guarda in profondità nella natura, e allora capirai tutto meglio". L'esplorazione nel mondo degli uccelli che troverete in questo libro cerca proprio di adottare la prospettiva proposta con queste parole da Albert Einstein, scegliendo di non fermarsi alle qualità che rendono questi animali particolarmente amati, come la bellezza del piumaggio o l'abilità nel volo, ma di andare oltre, in profondità, per comprendere davvero ciò che li rende straordinari. Dai cittadini storni agli esotici manachini, ogni specie nasconde peculiarità sorprendenti, talvolta bizzarre e senza dubbio affascinanti che vengono messe in luce nelle tappe di questo percorso, durante il quale i viaggiatori forse riusciranno a meravigliarsi nel senso etimologico del termine, cioè a guardare con ammirazione, e aumenteranno il desiderio di tutela nei confronti di questi preziosi organismi e dei loro ambienti. E magari, provando a mettersi nei panni degli altri, a volare come un falco pellegrino, ad ascoltare come un barbagianni o a comunicare come uno scricciolo azzurro superbo, riusciranno a capire qualcosa di più anche di se stessi.

Impareremo mai?

Riccardo Govoni

The text reflects on the persistent challenge of promoting scientific culture in contemporary society, connecting the ideas developed in the 1990s by Morris Shamos and Lewis Wolpert with the current challenges posed by the Internet, social media, and Artificial Intelligence.
Key words: *Scientific culture, Internet, Artificial Intelligence.*

Capita spesso che, ritrovandomi con reduci del registro come me o, comunque, con docenti ormai di lungo corso, il discorso finisca sull'attuale situazione della scuola e sulla diffusione della cultura scientifica (siamo ancora alle due culture!) ai tempi dell'Intelligenza Artificiale. Trattandosi di incontri informali, lo scambio di idee si trasforma presto in una processione di "ai miei tempi", più o meno supportata da tragici esempi contemporanei.

Va detto subito che questo atteggiamento ha origini millenarie. Esistono tavolette d'argilla risalenti ai Sumeri, tra i 3500 e i 4000 anni fa, nelle quali si trovano già tracce dei lamenti dei padri nei confronti dei figli. Una di queste descrive la vita all'interno dell'Edubba, la scuola degli scribi. Nel testo, un padre, uno scriba anziano, rivolge una durissima ramanzina al figlio adolescente, accusandolo di essere pigro e di pensare soltanto a divertirsi invece che a studiare (*A Scribe and His Perverse Son*[1]). Naturalmente Greci, Latini e perfino gli Indiani ci hanno lasciato innumerevoli esempi analoghi: il lamento sulla decadenza dei costumi dei giovani e sulla loro mancanza di spina dorsale costituisce un vero e proprio "genere letterario" universale.

Per quanto riguarda l'ambito scientifico e, in particolare, la fisica, vorrei riproporre come spunto di riflessione un articolo apparso il 2 settembre 1995 sulla rivista britannica *New Scientist*, dal titolo *Will They Ever Learn?*[2], firmato dal biologo, ingegnere e saggista Lewis Wolpert (1929-2021).



1. Kramer SN, *The sumerians their history, culture, and character*, The University of Chicago Press, Ltd., London, 1963.

2. Titolo preso in prestito dal celebre verso della canzone pacifista di Pete Seeger *Where Have All the Flowers Gone*.

Wolpert dialoga con le tesi, piuttosto radicali, del fisico, saggista ed educatore Morris Shamos (1917-2002), esposte nel suo celebre libro *The Myth of Scientific Literacy* (*Il mito dell'alfabetizzazione scientifica*)[3].

Se osserviamo più da vicino questo confronto, emergono con chiarezza due visioni contrapposte sul tema dell'educazione e della divulgazione scientifica formulate oltre trent'anni fa. Forse vi riconosceremo qualcosa di sorprendentemente simile alla situazione attuale, pur in assenza della complicità di Internet, dei social network e dell'IA. Una constatazione tutt'altro che rassicurante.

Shamos, dopo aver trascorso molti anni negli Stati Uniti cercando di comunicare la scienza a studenti di discipline non scientifiche, è giunto a una conclusione tanto semplice quanto dolorosa: i suoi sforzi sono stati sostanzialmente infruttuosi. Nonostante un secolo di riforme, sostiene l'autore, la scuola non è mai riuscita a produrre una popolazione scientificamente alfabetizzata. E questo nonostante il massiccio sforzo intrapreso alla fine degli anni Sessanta del secolo scorso, quando negli Stati Uniti furono profondamente rinnovati i programmi scolastici in risposta a eventi come il lancio dello Sputnik sovietico. È il periodo in cui nascono progetti divenuti celebri anche in Italia, come il PSSC[4] e, successivamente, l'IPS[5]. Al centro della sua analisi vi è una constatazione precisa: il fatto che molti studenti ottengano buoni risultati nelle materie scientifiche non garantisce affatto che diventino adulti scientificamente alfabetizzati. La maggior parte delle persone, infatti, dimentica gran parte delle informazioni apprese durante gli anni di scuola.

Negli anni Novanta del Novecento, un'indagine condotta da Shamos mostrava che circa l'80% degli americani possedeva una visione del tutto illusoria della propria capacità di comprendere la scienza. Esisteva, e continua a esistere, come hanno confermato indagini successive[6], una notevole distanza tra ciò che le persone credono di sapere e ciò che sanno realmente. Con un'aggravante: molto spesso ciò che dichiarano di sapere è sostanzialmente nulla. Mi è capitato più volte di dichiarare la mia professione di docente di fisica durante conversazioni informali con conoscenti occasionali e, nella grande maggioranza dei casi, la reazione è stata una spontanea ammissione di ignoranza, quando non addirittura di rifiuto, nei confronti della disciplina. Questo, pur non avendo io minimamente manifestato l'intenzione di interrogarli.

La soluzione proposta da Shamos consiste nel sostituire l'obiettivo della *scientific literacy* (alfabetizzazione scientifica) con quello della *scientific awareness* (consapevolezza scientifica). Tale obiettivo può essere riassunto in tre punti fondamentali.

1. Comprendere la scienza come impresa culturale e sociale: conoscere che cos'è la scienza, come funziona la comunità scientifica e come vengono costruite e validate le conoscenze; considerare la scienza come una componente della cultura e non soltanto come un insieme di fatti e formule.
2. Essere consapevoli dell'impatto della tecnologia sulla vita quotidiana: comprenderne il ruolo nella salute, nella sicurezza, nell'ambiente, nel lavoro e nella qualità della vita; capire dove e come la scienza influenzi le decisioni pubbliche e private.
3. Imparare a utilizzare gli esperti in modo intelligente: riconoscere quando una questione richiede competenze specialistiche; saper valutare l'affidabilità delle fonti e degli esperti; affidarsi al consenso della comunità scientifica, invece di tentare di diventare esperti in ogni campo.

Sono soprattutto i primi due punti a essere contestati da Lewis Wolpert. Egli osserva che non è possibile comprendere il funzionamento della scienza senza possedere una base minima e concreta di conoscenze. In questo senso difende, almeno in parte, la posizione dei "tradizionalisti": per esercitare un giudizio critico è comunque necessario disporre

3. Shamos MH, *The Myth of Scientific Literacy*, Rutgers University Press, 1995.

4. L'acronimo PSSC sta per Physical Science Study Committee, un comitato scientifico statunitense fondato nel 1956 presso il MIT (Massachusetts Institute of Technology). Haber-Schaim U, Dodge JH, Gardner R, Shore EA, *Fisica a cura del PSSC (Comitato per lo studio della Scienza Fisica),* Zanichelli, 1961.

5. IPS, acronimo di Introductory Physical Science (sviluppato originariamente al MIT di Boston dall'IPS Group guidato da Uri Haber-Schaim), fu pubblicato dalla Zanichelli come Introduzione alla Scienza Fisica a partire dal 1975.

6. https://www.pewresearch.org/science/2019/03/28/what-americans-know-about-science/?utm_source=chatgpt.com

di un patrimonio adeguato di conoscenze reali. Per Wolpert la scienza è difficile da comprendere perché i suoi risultati e i suoi metodi sono spesso in contrasto con il senso comune. L'intuizione umana si è evoluta per affrontare problemi quotidiani di sopravvivenza, non per comprendere il moto dei pianeti, l'evoluzione biologica, la meccanica quantistica o la genetica. Da qui nasce la sua celebre tesi: la scienza è *unnatural*, innaturale[7]. Wolpert sostiene che il pubblico dovrebbe imparare in che modo la scienza riesca a correggere le intuizioni sbagliate attraverso prove ed esperimenti. La sua risposta al carattere anti-intuitivo della scienza non consiste nell'abbassare l'obiettivo educativo, bensì nell'insegnare esplicitamente perché l'intuizione, da sola, rappresenti una guida inaffidabile per comprendere il mondo. Il saggista ammette che si possa vivere anche senza conoscenze scientifiche, ma a pagina 29 del suo libro scrive: "D'altra parte, la scienza può arricchire enormemente la vita di una persona e, nella società moderna, la conoscenza è essenziale per innumerevoli decisioni politiche e sociali che influenzano le nostre vite". Se questa affermazione era importante allora, a maggior ragione lo è nel mondo contemporaneo.

L'aspetto più interessante è che Shamos e Wolpert scrivevano negli anni Novanta, quando Internet era ancora agli inizi. Letti oggi, dopo trent'anni di web, social network, smartphone e IA generativa, le loro tesi non solo resistono, ma appaiono persino rafforzate. Assumono, tuttavia, un significato diverso. Allora si riteneva che una maggiore disponibilità di informazioni producesse automaticamente una maggiore comprensione. Oggi Internet sembra dimostrare esattamente il contrario. Chiunque può accedere gratuitamente a corsi universitari, articoli scientifici, banche dati, simulazioni e video esplicativi. Eppure, il negazionismo climatico persiste, il movimento anti-vaccini è cresciuto e la sfiducia negli esperti è aumentata in molti contesti. In questo senso, Shamos aveva intuito correttamente che il problema non fosse la mancanza di informazioni, ma la capacità di interpretarle.

Anche Wolpert aveva visto giusto. I social network e l'IA generativa suscitano emozioni, rassicurano attraverso la semplificazione, offrono certezze, moltiplicano le storie personali e alimentano indignazioni catartiche. La scienza, al contrario, produce dubbi; non offre certezze ma intervalli di confidenza e probabilità; si nutre di risultati provvisori e di complessità. Un post di un influencer è naturale; un articolo scientifico è innaturale. È esattamente ciò che sosteneva Wolpert.

Shamos e Wolpert partivano da una società caratterizzata dalla scarsità di informazioni. Oggi viviamo nel problema opposto: l'accesso è praticamente illimitato, ma manca il filtraggio. La domanda che dobbiamo porci, tutti e non soltanto i giovani, non è più dove trovare le informazioni, ma quali informazioni meritino la nostra fiducia. Questo sposta il problema oltre la semplice alfabetizzazione scientifica.

Con l'IA posso chiedere a un Large Language Model, un "modello linguistico di grandi dimensioni", di spiegarmi un articolo, confrontare studi, verificare un'argomentazione o tradurre un linguaggio specialistico. Ma si crea immediatamente un nuovo problema: chi controlla il controllore? Se non comprendo la scienza e non comprendo nemmeno l'IA, rischio di sostituire la fiducia negli esperti con una fiducia acritica nell'algoritmo.

La domanda, allora, non è più sapere come avvenga un determinato fenomeno, ma saper distinguere una fonte affidabile da una non affidabile quando non è possibile verificare personalmente ciò che ci viene detto. E la risposta, a mio avviso, non può che essere una: aver intrapreso, a monte, quel percorso scientifico fondato sulla falsificazione, sulla revisione critica, sulla statistica e, da ultimo, ma non ultimo, sulla capacità mentale di tollerare il tempo e lo sforzo necessari per elaborare, comprendere e approfondire informazioni complesse.

Con pazienza.

Questo rimane il nostro unico vero scudo contro la manipolazione dell'informazione. E in ultima analisi unico vero scudo della nostra libertà. ●

7. Wolpert L, *The Unnatural Nature Of Science*, Faber & Faber, Londra, 1992.

Guido Barbujani
Un evangelista e il suo DNA.
Una storia di reliquie e di scienziati
Editori Laterza, 2026



"Giuro che è tutto vero": inizia così questo libro che racconta le mirabolanti avventure di un eterogeneo gruppo di studiosi incaricati di verificare l'autenticità della reliquia dell'evangelista Luca custodita a Padova nella basilica di Santa Giustina. Si tratta di uno scheletro senza testa conservato in un'urna insieme a vari oggetti e a numerose vertebre di serpenti – una circostanza, questa, dovuta a un evento naturale: pare che alcuni biacchi si siano infilati nella cassa di piombo (bucata) che conteneva originariamente il corpo del santo per ripararsi durante il letargo. Dell'equipe incaricata di studiare i resti, diretta dall'anatomopatologo Vito Terribile Wiel Marin (un uomo che inizia ogni sua telefonata annunciando: "Sono Terribile") fa parte dunque anche un paleontologo esperto in serpenti, oltre a storici, chimici, filologi, numismatici, archeologi. Guido Barbujani partecipa in qualità di genetista, per verificare se il DNA dello scheletro – più precisamente, di due denti presenti nell'urna (nonostante l'assenza della testa) – sia compatibile con le origini siriane dell'evangelista.

Barbujani, si sa, è un bravissimo divulgatore scientifico e ci spiega con grande chiarezza che cos'è il DNA mitocondriale e come la sua analisi sia utile per stabilire rapporti di parentela anche molto remoti. Nel caso dell'evangelista Luca, si tratta di confrontarlo con i DNA di siriani, greci e turchi per capire in quale popolazione si collochi.

A questo punto la spiegazione scientifica cede il passo al romanzo d'avventura – ma "è tutto vero", ci ha giurato Barbujani. L'autore ci offre innanzitutto il quadro di una Siria che, alla fine degli anni '90, è molto diversa dal paese devastato dalla successiva guerra civile: una Siria prospera, multiculturale, accogliente, carica di storia. Ma muoversi con campioni di sangue, aghi e provette tra autorità militari, burocrati e controlli di frontiera è tutt'altro che semplice: la narrazione assume i contorni del giallo internazionale, della spy story e della commedia brillante, ricca di aneddoti surreali. I campioni di sangue, in ogni caso, dimostreranno la massima compatibilità proprio con le popolazioni dell'area siriana (i risultati sono stati pubblicati nel 2001 dalla prestigiosa rivista PNAS).

È un risultato sufficiente, unito a quelli conseguiti dagli altri esperti, per avvalorare l'autenticità della reliquia conservata a Padova? Come dice il vescovo Antonio Mattiazzo fin dall'inizio dell'impresa "nessuno ha le competenze interdisciplinari per trarre le conclusioni di studi tanto diversi, e quindi queste conclusioni non le trarrà nessuno" – anche se Barbujani la sua idea se l'è fatta e si limita a comunicarcela in una nota alla fine del libro. In ogni caso, questa complicata avventura scientifica non è certo stata inutile, dal momento che ha consentito di fare luce su molti dettagli e il quadro generale delle vicende dell'evangelista e della sua salma risulta alla fine molto più chiaro rispetto all'intrico di storie, ipotesi e leggende (le narrazioni di furti di corpi di santi sono diffusissime nel Medioevo e costituiscono un vero e proprio genere letterario, la *traslatio*) che le circondavano.

La ricerca, ci insegna questo piacevole libro, funziona così: procede faticosamente e non senza contraddizioni, ma fa fare passi avanti alle nostre conoscenze, passi a volte piccoli, ma mai irrilevanti.

Maria Turchetto

Chi ben comincia. Una riflessione sull'educazione linguistica nella scuola primaria

Lucrezia Pedrali

The educational action of the school is essential for the acquisition of linguistic skills. It is a vertical process that begins with the simplest intuitions and gradually expands in a recursive way to achieve text comprehension. Language is a tool of thought and, for this reason, it's at the center of all teachers' attention.
Key words: *Language education*, *Words*, *Orthography*, *Grammar.*

L'intento delle osservazioni proposte qui di seguito è quello di rimettere al centro delle attività di insegnamento/apprendimento la questione dell'educazione linguistica nei primi anni della scuola di base, considerandola non solo e non tanto come una specifica disciplina, bensì come una facoltà trasversale da sviluppare perché intesa come presupposto per sostenere tutto il processo di apprendimento. La lingua quindi considerata come strumento del pensiero e l'educazione linguistica orientata sì alla formazione delle competenze comunicative degli alunni, ma nel contempo impegnata per concorrere alla costruzione di processi mentali quali la simbolizzazione, la classificazione, la seriazione, la generalizzazione, l'astrazione (processi mentali ritenuti prevalentemente appartenenti all'ambito logico-matematico).

Il testo

Il punto di partenza di questa prospettiva di lavoro è il testo inteso come "una produzione linguistica orale o scritta caratterizzata da compattezza morfosintattica e da unità, autonomia e compattezza di significato" (Treccani).
I repertori di lingua dai quali attingere dati per le riflessioni linguistiche sono quelli immediatamente disponibili nei bambini: il bagaglio linguistico individuale, i materiali proposti per l'apprendimento della letto-scrittura, ma soprattutto le prime letture e le *prime parole scritte*. Va sottolineato che anche le comunicazioni o i testi prodotti oralmente possono diventare oggetto di analisi, ma di altro tipo: gli elementi da considerare per analizzare la produzione orale sono la pertinenza, l'appropriatezza, la correttezza formale ecc. E, soprattutto nei primi anni di scuola, le comunicazioni orali e spontanee degli alunni più che analizzate direttamente, vanno rispettate,



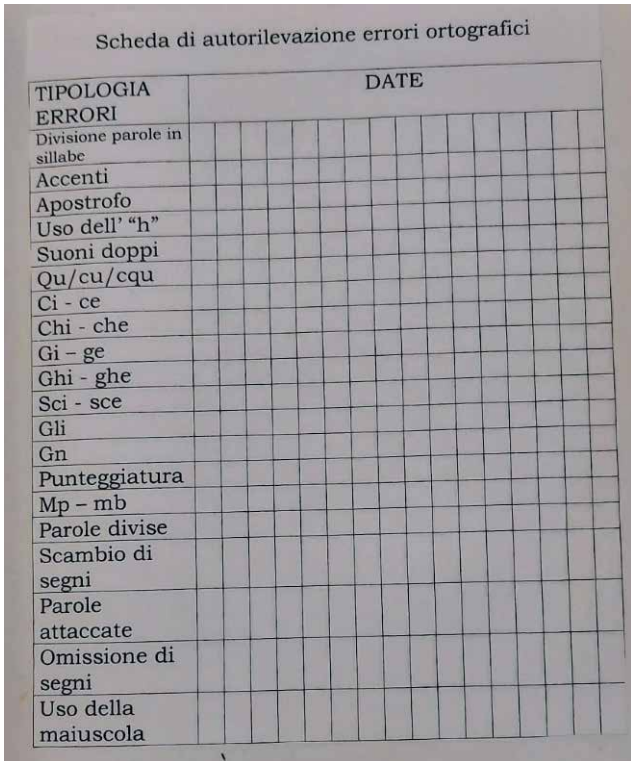
accolte, valorizzate e magari sostenute attraverso domande o riformulazioni, ma non sono funzionali alla riflessione qui presa in considerazione.
Qualsiasi testo può essere smontato e rimontato a partire da osservazioni che tengano conto, in modo sistematico, sia del significato sia della forma del testo. Persino alcuni dati linguistici, considerati routine banali, possono in realtà costituire motivi di riflessione interessanti. La scrittura quotidiana della data sul quaderno è diventata, in una classe prima della scuola primaria, all'inizio dell'anno scolastico, fonte di molteplici possibilità di lavoro. Su richiesta di un bambino (non compiutamente italofono), ci si è trovati a ragionare sul perché tutti i nomi dei giorni della settimana scolastica terminassero in -dì. Scomponendo i nomi dei giorni, i bambini sono arrivati alla conclusione che la prima parte degli stessi cambiava e quindi si riferiva a significati diversi mentre il pezzetto finale -dì manteneva lo stesso significato: le parole erano formate da "pezzi" che si combinavano insieme. Questa intuizione precocissima, trasformata in una osservazione costante nel successivo percorso di apprendimento della letto-scrittura, è diventata una modalità per affrontare prima l'analisi delle parole, poi l'analisi di testi più complessi, fino ad approdare nelle classi successive, alla scoperta di regole grammaticali vere e proprie. La scrittura sistematica e ordinata della data sul quaderno ha portato a riflettere, in forma adeguata alle caratteristiche cognitive dei bambini, sul significato del "pezzetto -dì", sulla storia dei nomi dei giorni, sui loro riferimenti (elementi del sistema solare e poi divinità) e, proseguendo su questo tema, si è generata la curiosità di scoprire i nomi dei due giorni assenti dal calendario settimanale della scuola, il sabato e la domenica a loro volta definiti dal punto di vista di altre due religioni (lo Shabat ebraico e il Dominus cristiano), ma anche alla scoperta che in classe c'erano bambini la cui religione non era rappresentata nei nomi dei giorni, scoperta che ha dato origine ad un piccolo percorso di educazione interculturale.
Accanto ai progetti dedicati, ciò che favorisce la costruzione o il consolidamento di competenze esistenziali (obiettivo dichiarato della infinita serie di "educazioni") è il recupero all'interno del "normale" percorso scolastico e disciplinare di ogni occasione per legare tali competenze alla quotidianità del fare scuola. Nell'esempio presentato, la scoperta della presenza di più religioni all'interno della classe, ha portato anche alla diretta scoperta della presenza di differenti lingue. Abbiamo cioè messo a fuoco la dimensione della varietà linguistica e religiosa e quindi della *pluralità* come elemento costitutivo della nostra realtà. Questo concetto cardine della "pluralità", assunto come uno dei criteri importanti per interpretare la realtà, ha accompagnato il nostro lavoro anche negli anni successivi.

La forma delle parole

Sempre legato alla dimensione linguistica, in classe quarta si è sviluppato un percorso definito "Il viaggio delle parole nel tempo e nello spazio" che, centrato sulla etimologia e sui prestiti linguistici, ci ha consentito di costruire una sorta di dizionario multilingue, mettendo in rilievo le lingue presenti in classe parlate o comprese dagli alunni per i quali la "madre lingua" non fosse l'italiano.
Ritornando alle proposte di attività connesse alla scrittura della data, abbiamo anche imparato a contare gli intervalli di tempo che le date ci indicavano, sia nella circolarità della settimana sia nella progressione del mese: quanti giorni mancano a… ogni quanti giorni abbiamo la lezione di… quando abbiamo imparato la vocale… di quanti giorni dobbiamo tornare indietro per trovare…
Pur nel rigore e nella attenzione dovuta alla progettazione delle attività di classe, si possono afferrare al volo input e sollecitazioni che diventano occasioni di allargamento del percorso prefissato. Nel tempo abbiamo imparato a definire "problemi linguistici" aspetti o occorrenze linguistiche a volte intuite spontaneamente, a volte proposte dall'insegnante sempre in relazione alla osservazione della forma delle parole.
Proseguendo nel percorso di apprendimento della letto-scrittura *le osservazioni sulla forma delle*

parole sono diventate pratica quotidiana. I giochi di composizione delle parole attraverso le sillabe apprese hanno fatto sorgere una serie di domande relative ad aspetti ortografici: conosco la sillaba "ma" per scrivere "mamma" non bastano due "ma" e quindi come si può procedere? Si approda, attraverso esemplificazioni e richiesta di attenzione all'ascolto della parola, alla necessità nella scrittura di raddoppiare il suono pronunciato in forma intensa perché "le lettere doppie sono la rappresentazione grafica delle consonanti che, in posizione intervocalica, vengono pronunciate in grado intenso" (Treccani). Prima che un problema di scrittura, l'uso delle doppie è quindi un problema di ascolto. Solo la costante attenzione alle caratteristiche ortografiche permette di fissare le regole, o quantomeno, di limitare gli errori. Vale la pena sottolineare che *la correttezza ortografica* è un obiettivo che va perseguito in tempi non troppo diluiti e con tenacia. Un capitolo importante del nostro percorso di riflessione linguistica ha riguardato proprio la correttezza ortografica. Forse va ribadito che tutti gli insegnanti sono tenuti a controllare la correttezza ortografica della produzione scritta nell'ambito della propria disciplina di insegnamento. L'ortografia, in larga parte, trova la propria giustificazione nella storia della lingua e quindi non sempre è possibile spiegare le ragioni delle regole ortografiche. L'intervento sull'ortografia deve, di volta in volta, prevedere approcci diversi: uso di tecniche esplicative, contrastive, ripetitive in modo da generare la *memoria* ortografica. Interessante è stato l'utilizzo della scheda di autorilevazione degli errori ortografici che ha permesso di ragionare sulle varie tipologie di errori e quindi sulle correzioni.

Accanto alle osservazioni linguistiche "allargate", in classe prima il nocciolo duro delle attività è costituito dalla questione dell'apprendimento delle abilità/competenze di letto-scrittura. Gli studi, di cui anche gli insegnanti possono disporre oggi, indicano che il metodo di insegnamento della lettura più efficace, o addirittura obbligato, è quello fonico-sillabico[1]. Anche per l'acquisizione della letto-scrittura, come per ogni



Scheda di autorilevazione errori ortografici

TIPOLOGIA ERRORI	DATE
Divisione parole in sillabe	
Accenti	
Apostrofo	
Uso dell' "h"	
Suoni doppi	
Qu/cu/cqu	
Ci - ce	
Chi - che	
Gi – ge	
Ghi - ghe	
Sci - sce	
Gli	
Gn	
Punteggiatura	
Mp – mb	
Parole divise	
Scambio di segni	
Parole attaccate	
Omissione di segni	
Uso della maiuscola	

fase delle attività scolastiche, rimane intatta la necessità di creare un ambiente promozionale all' apprendimento che non può risolversi solo nella proposta di una interminabile sequenza di schede esercitative. Imparare significa anche appassionarsi e trovare senso nelle progressive scoperte e nelle nuove acquisizioni.

L'utilizzo del metodo fonico-sillabico per l'apprendimento della letto-scrittura ha permesso infinite attività di riutilizzo delle sillabe prima e poi delle lettere per produrre testi significativi. In fondo si è trattato di lavorare per portare l'attenzione su quella che i linguisti definiscono la "doppia articolazione della lingua": "il segno linguistico ha la doppia articolazione e cioè è articolato – a un primo livello – in unità portatrici si significato (monemi) e – a un secondo livello – è articolato in unità prive di significato, ma capaci di produrlo, e quindi di formare unità del livello superiore

1. Per le giustificazioni teoriche si rinvia al testo di Dehaene S, *I neuroni della lettura*, Raffaello Cortina Editore, 2009 (in particolare ai capp. 3-5).

(o monemi se combinate in successione) [...]. Essendo le unità linguistiche "discrete", è possibile la loro riutilizzazione in combinazioni e seriazione diverse"[2], potenzialmente illimitate. Persino il cartellone con i nomi dei bambini in ordine alfabetico (immediatamente predisposto per organizzare la fila di evacuazione) ha costituito motivo di riflessione sui criteri che hanno ispirato la sua stesura. Appreso in tempi rapidi l'ordine alfabetico si è posto il problema di come sistemare i nomi aventi la stessa iniziale, ad esempio Anna - Aleandra - Andrea - Aurora. Osservando attentamente l'elenco dei nomi, alcuni bambini hanno intuito che il solo criterio della lettera iniziale non era sufficiente per stabilire l'ordine alfabetico e che si doveva considerare anche la seconda e in alcuni casi la terza lettera.

Le operazioni sulle parole

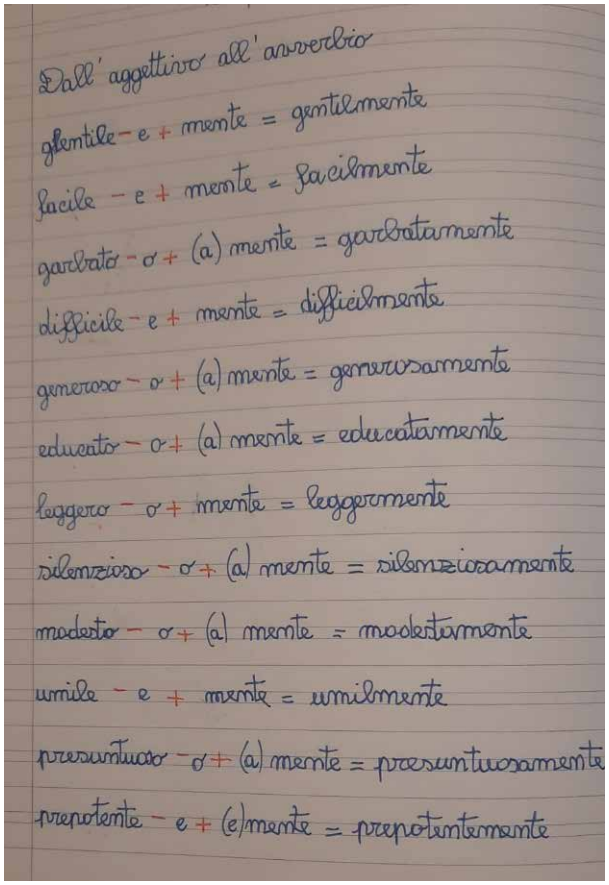
Naturalmente la riflessione può, anzi deve, essere condotta anche a partire da *testi narrativi* che costituiscono un passaggio ulteriore e offrono occasione di tenere in conto sia la ricerca del significato, sia l'analisi delle parole. Ogni testo deve essere compreso e quindi il primo passo è l'accertamento che i dubbi lessicali siano risolti. Ma spesso, anziché fornire la spiegazione è più utile sollecitare i bambini a formulare ipotesi a partire dal contesto per inferire il senso della parola non compresa. E poi, gli itinerari percorribili all'interno di un testo sono illimitati perché qualsiasi testo può essere smontato e rimontato a partire da riflessioni diverse e che attengono ad ambiti differenti della lingua. È utile lavorare sul medesimo testo, considerandolo sotto aspetti diversi. Questa modalità, se reiterata nel tempo, permette di comprendere (anche implicitamente) che la lingua ha tante funzioni e si può sempre osservare sia sotto il profilo del significato che della forma. Una scoperta interessante è stata quella delle modificazioni delle parole, in particolare, nella prima classe, dei nomi. Questo capitolo della nostra riflessione linguistica, che ci ha accompagnato per tutto il percorso scolastico, lo abbiamo definito "Le operazioni sulle parole". In una lettura è stata individuata la parola "vocina". Nella ricerca del significato i bambini hanno compreso che la parola vocina aveva a che fare con voce, che il pezzo "voc" rimaneva uguale e che cambiava solo la parte terminale. In una classe prima non si può parlare ovviamente di *radice/desinenza* o di *monema lessicale/monema morfologico.* Avere ritrovato in molte altre parole la stessa variazione è stato sufficiente per comprendere che quando cambia qualcosa nella forma della parola cambia anche in parte il suo significato e che, in particolare, *-ina* o *-ino* aggiungevano al significato della parola l'idea di piccolezza. Allo stesso modo, ragionando sul lessico è stato possibile individuare molte regole di *modificazione* e poi ordinare le parole in base al suffisso modificante. Il senso di questo lavoro è stato certo quello di aumentare il lessico a disposizione degli alunni, ma lo scopo prioritario è stato quello di far acquisire confidenza con i meccanismi di formazione del lessico medesimo. Un'altra importante operazione sulle parole, sempre inizialmente individuata a partire dalla lettura di un testo, distinta dalla modificazione, è quella relativa alla *derivazione.* Le parole derivate, a differenza di quelle modificate, hanno sempre un significato diverso dalle parole di partenza e, di solito, la modificazione produce un cambiamento di tipo (o classe) della nuova parola: un nome può dare origine a un altro nome, ad esempio sale può generare salinità, oppure l'aggettivo salato, oppure il verbo salare ecc. La *derivazione* è generativa di infinite nuove parole e scoprire il tipo di cambiamento in base ai suffissi presenti nella parola (i suffissi sono un centinaio) rende più semplice comprendere il significato della parola stessa. Scoperto e verificato il valore di un suffisso (ad esempio - oso aggiunto alla radice di un nome produce un aggettivo che indica sempre "pieno di") è possibile individuare altri suffissi e

2. Altieri Biagi M, *La programmazione verticale*, Firenze, Nuova Italia, 1994.

altri processi di derivazione. Lo studio sistematico dei processi di derivazione è rinviato ai gradi successivi di scuola, ma l'osservazione della parola e la scoperta delle tante informazioni che vanno oltre la loro valenza semantica diventa un modo per esercitare il pensiero e implementare le competenze logico-linguistiche.

L'azione formativa della scuola

Le competenze linguistiche infatti si possono pensare sommariamente organizzate in due differenti ambiti: l'ambito delle competenze "naturali" e quello delle competenze "artificiali". La competenza naturale è quella che si sviluppa da sola e che un qualsiasi parlante matura nella acquisizione della propria lingua madre. La qualità e la quantità di tale competenza sono influenzate dall'ambiente, dalla famiglia, dalle esperienze personali. Lo sviluppo della competenza artificiale ha invece bisogno di una azione formativa cioè ha bisogno della scuola. Solo un lavoro costante permette di consolidarla e di trasformarla in conoscenza consapevole e duratura. Ciò vale, ovviamente, anche per tutti gli altri ambiti del sapere e investe in modo integrale il processo di insegnamento/apprendimento. Questa modalità di lavoro si fonda sulla idea che l'educazione linguistica non debba essere intesa come una progressione di contenuti che si succedono diacronicamente e che, una volta affrontati, si possono accantonare per passare ad altro. *L'educazione linguistica è un processo di apprendimento verticale*: soprattutto la riflessione linguistica, a partire dalle scoperte più semplici, deve essere costantemente ripresa, con movimento a spirale e via via allargata fino a giungere a competenze grammaticali funzionali a una migliore comprensione delle diverse proposte disciplinari e cioè condurre alla *intelligenza* del testo. ●



Indicazioni bibliografiche

Serianni L, *Italiano. Grammatica, sintassi, dubbi*, Milano, Garzanti editore, 2012.

De Benedetti A, *Val più la pratica. Piccola grammatica immorale della lingua italiana*, Roma, Laterza editore, 2009.

Altieri Biagi ML, *La programmazione verticale*, Firenze, Nuova Italia, 1994.

Luperto A, *L'educazione linguistica nella scuola primaria*, Roma, ANICIA ed., 2013.

Cisotto L, *Didattica del testo*, Roma, Carocci editore, 2006.

Lo Duca MG, *Lingua italiana ed educazione linguistica*, Roma, Carocci editore, 2013.

Cortelazzo M, *Italiano d'oggi,* Padova, Esedra editore, 2000.

Castoldi M, *Capire le prove INVALSI*, Roma, Carocci editore, 2014.

Notarbartolo D, *Competenze testuali per la scuola*, Roma, Carocci editore, 2014.

Chi ben comincia. Un anno di matematica in classe prima

Rita Di Ianni

What does it mean for a six-year-old to have a strong beginning in mathematics? The author highlights five key themes that shape the mathematical reasoning of the first graders she teaches: the body, hands, and everyday objects; the emergence of number concepts; picturebooks serving as entry points into math; spatial understanding, including shapes and measurements; and challenges, data, and language. These are not formal teaching modules but rather perspectives on mathematics that consistently overlap and connect with each other.
Key words: *Mathematical thinking*, *Play*, *Number*, *Space*, *Problems.*

C'è un equivoco che continua a girare intorno alla matematica dei primi anni: l'idea che impararla voglia dire anticipare (contare prima, scrivere i numeri prima, conoscere i simboli prima) come se fosse una gara di velocità, e non un modo di stare nel mondo. I bambini non cominciano a fare matematica quando arrivano alla primaria: la stanno già facendo, nel gioco, nel corpo, nelle routine di ogni giorno. Il gioco, scriveva Gianfranco Staccioli[1], non è una pausa dall'apprendimento: è il suo motore. Quando un bambino tocca, esplora, smonta, ripete lo stesso gesto per la ventesima volta, non sta perdendo tempo: sta capendo come funziona il mondo, e la matematica è già dentro quel capire. Non esistono bambini senza matematica: esistono adulti che non la vedono. Materiali, natura, libri illustrati non sono automaticamente educativi: lo diventano quando qualcuno li trasforma in un'occasione per guardare insieme. Scegliere questo sguardo non è automatico: è qualcosa che si allena, giorno dopo giorno. Per questo credo che cominciare bene non abbia una data, non si esaurisca in un'accoglienza "matematica" delle prime settimane. È una condizione che si costruisce e si mantiene nel tempo, fatta di corpo, gioco, storie, e anche errori. È il filo che ho provato a seguire in questo articolo, intrecciando quello che osservo ogni giorno in classe con la ricerca educativa a cui faccio riferimento. Nel blog *Mate-*



1. Staccioli G, *Il gioco e il giocare. Elementi di didattica ludica*, Carocci editore, 2008.

matiche non si nasce[2] racconto, settimana dopo settimana, i singoli episodi di questo percorso; qui vorrei guardarlo per intero, per mettere a fuoco gli elementi che, insieme, fanno la differenza quando un bambino comincia questo percorso a scuola. Ho individuato cinque filoni attorno ai quali ho visto costruirsi il pensiero matematico dei bambini nella classe prima: il corpo, le mani e i materiali poveri; il numero che prende forma; gli albi illustrati come porte d'ingresso; lo spazio con le sue forme e le sue misure; i problemi, i dati e le parole. Non sono unità didattiche, ma sguardi che si intrecciano continuamente, spesso nello stesso gesto. Provo a raccontarli uno per uno, cominciando dal più radicale: il corpo.

Il corpo, le mani e i materiali poveri

Il primo filone non riguarda uno strumento didattico ma un presupposto: che il pensiero matematico nasca nel corpo, prima ancora di diventare altro. È quello che le scienze cognitive chiamano *embodied cognition:* l'idea che pensare non avvenga "sopra" il corpo, ma nasca dal gesto, dalla manipolazione, dall'esperienza sensoriale. Per un bambino di sei anni questo non è una metafora: è l'unico modo che ha per cominciare a costruire il numero. Lavorare con materiali poveri (fagioli, ceci secchi, rotoli di cartone, mollette) non è dunque un espediente per rendere simpatica la





matematica, ma una scelta didattica precisa, da rivendicare invece di considerarla un passatempo prima della "matematica vera".

C'è un primo motivo, concreto, per insistere su questi materiali: la manualità fine.

Toccare, allineare, disporre piccoli oggetti allena i muscoli della mano, quelli che servono a impugnare correttamente una matita — gli studi più recenti mostrano che, in presenza di difficoltà, non aiuta ingrandire gli strumenti come matite e impugnature, ma lavorare con oggetti piccoli e sottili. Da un pugno di fagioli e un dado si possono costruire moltissimi giochi diversi: è questa economia (pochi oggetti, tanti pensieri) a rendere i materiali poveri una risorsa così densa. Le mani, in questo quadro, sono il primo materiale matematico che un bambino possiede.

Non è un caso che il progetto PerContare, dell'Università di Pisa[3], le metta al centro fin dalle attività più semplici: ricostruire, senza vedere, una configurazione delle dita descritta a voce è già un modo per abitare il numero prima di scriverlo. E non è un caso che Jo Boaler[4] ricordi spesso come, pensando ai numeri anche da adulti, si attivi nel cervello la stessa area che usiamo per le dita: la percezione digitale è un predittore preciso del successo matematico futuro.

Eppure in alcune scuole le dita vengono ancora scoraggiate, come un'abitudine da abbandonare in fretta: è l'esatto contrario di ciò che dice la ricerca. Sono i bambini stessi, quando sono pronti,

2. https://*matematichenonsinasce.com*/

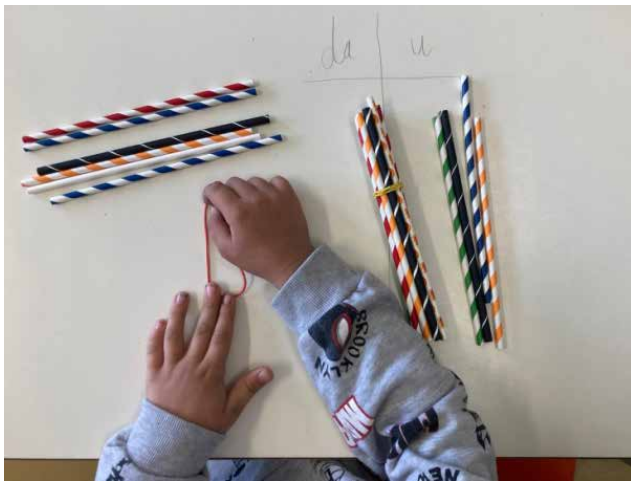
3. https://*www.percontare.it*/

4. Boaler J, *Limitless Mind: Learn, Lead, and Live Without Barriers*, San Francisco, HarperOne, 2019.

a lasciarle andare da soli; prima, però, devono poterle usare, perché sono un ponte naturale tra il corpo e il numero.
Se il corpo è il punto di partenza vale, la pena allargare lo sguardo al *tinkering*, quel modo di lavorare che parte dal materiale concreto e lo trasforma in pensiero attraverso esplorazione, progettazione, costruzione: allenare l'intuizione, negoziare con gli altri, risolvere problemi pratici sono, a tutti gli effetti, forme di pensiero matematico. In una delle prime settimane, scatoloni di cartoni bucati e irregolari (arrivati quasi per caso) sono diventati, con pochi minuti di osservazione libera, materiale per costruire dei mostri, complice l'atmosfera di Halloween. Dall'esplorazione siamo passati a pochi schizzi alla lavagna, poi alla costruzione vera, due ore in cui il materiale, più che essere piegato a un'idea decisa, ha orientato il pensiero: se un buco non si riusciva a tagliare in un modo, bisognava trovarne un altro. Sono entrate così in gioco, spontaneamente, questioni matematiche.
Il corpo, in questo senso, si allarga: non sono soltanto le mani a contare e scomporre, ma il corpo intero che esplora lo spazio attraverso un materiale. Ed è qui che la scelta dei materiali poveri mostra il suo significato più profondo: non serve a "rendere più facile" la matematica, serve a costruire fin dall'inizio l'idea che il pensiero nasce dal fare, dal toccare, dal provare.

Il numero che prende forma

Dentro questo intreccio di corpo e gioco, il numero comincia poco alla volta a prendere forma. Non arriva mai già confezionato: va costruito, ed è interessante notare che lo costruisce ogni bambino seguendo, a modo suo, lo stesso cammino percorso dall'umanità intera. Per raccontare questa nascita ho scelto la storia di Uri, un bambino sumero vissuto migliaia di anni fa. Il suo problema non è contare, ma tenere il conto quando le quantità crescono: per risolverlo inventa piccole sfere di argilla, una per ogni oggetto da ricordare, finché non nasce l'idea decisiva: un cono più grande che vale dieci sfere piccole. È la nascita, in miniatura, della struttura stessa del numero. Racconto questa storia perché



dà ai bambini una chiave preziosa: stanno attraversando, in piccolo, il passaggio dal contare un oggetto alla volta al costruire un sistema organizzato di quantità.
Anche la base dieci, che a un adulto sembra invisibile tanto è naturale, si è stabilizzata perché comoda, fra i molti altri modi di contare che la storia ha conosciuto. Coerentemente con questo sguardo, la rappresentazione simbolica arriva solo dopo un lungo lavoro concreto: cannucce raggruppate a dieci a dieci, elastici che segnano il confine fra decine e unità, fagioli nascosti in un pugno da indovinare, tutte attività adattate dal progetto *PerContare*. Ma il numero prende forma anche, continuamente, nella vita quotidiana della classe, a patto di andarlo a cercare. Il nostro anno è cominciato con una domanda nel grande cerchio di bambini: "Dove sono i numeri nel nostro corpo?" Da lì la ricerca si è spostata negli spazi della scuola (cartelli, calendari, orologi), perché i numeri, prima di essere un contenuto da studiare, sono qualcosa che si incontra nel mondo che già abitiamo.
Lo stesso principio ha guidato il "codice d'accesso" per rientrare in classe dopo la mensa: un cartello con più cifre, e ogni bambino chiamato a ripercorrerne con il dito il segno grafico, un gesto minimo, ripetuto ogni giorno, in cui il numero prendeva letteralmente forma sotto le dita.
Anche il segno grafico ha una sua storia da attraversare, ed è per questo che studiamo le cifre una alla volta, con calma e da lì è nato il "cifrario di

classe". Si trattava di trasformare ogni cifra con un pennarello in un animale, un oggetto, una faccia. Prima di essere un simbolo astratto, la cifra è diventata una forma da abitare con l'immaginazione, come lo zero era diventato un personaggio da interpretare a scuola, alle prese con la scoperta che accanto a un'altra cifra diventava finalmente potente. Anche la memorizzazione, in questo intreccio, cambia natura.



Lo studio di Gray e Tall[5] mostra che i bambini con buone prestazioni matematiche recuperano i fatti noti dalla memoria in una minoranza dei casi, preferendo affidarsi al proprio senso del numero; sono i bambini in difficoltà a dipendere quasi esclusivamente dal ricordo di procedure, saturando la memoria di lavoro.
È per questo che gli "amici del dieci" e del venti, in classe, non sono mai stati una lista da imparare a memoria, ma sono emersi dentro il gioco, quando conoscerli è diventato utile per vincere. In quei momenti la memorizzazione arriva da sola, per sedimentazione, come conseguenza di un'esperienza desiderata.

5. Gray EM, Tall DO, *Duality, Ambiguity, and Flexibility: A "Proceptual" View of Simple Arithmetic*, Journal for Research in Mathematics Education, vol. 25, 2:116-140, 1994.

6. Lionni L, *Il bruco misura tutto*, Milano, Babalibri, 2010.

7. Iwai T, La casa a 100 piani, Milano, L'ippocampo, 2023.

8. Parlange A, *Il nastro*, Casalecchio di Reno, Fatatrac, 2021.

Gli albi illustrati come porte d'ingresso

C'è un terzo modo con cui la matematica è entrata in classe: quasi ogni storia, guardata con lo sguardo giusto, apre una domanda matematica. Non serve cercare albi "sulla matematica", basta un libro che racconti bene qualcosa perché diventi una porta. E la porta funziona meglio di una spiegazione diretta perché non consegna il concetto già pronto: lo fa desiderare, esattamente come nel gioco, dove conoscere gli amici del dieci diventa urgente solo quando serve per vincere. Alcuni albi funzionano quasi come uno strumento didattico già pronto. È il caso de *Il bruco misuratutto* di Leo Lionni[6], dove il protagonista, per sfuggire a un pettirosso, si reinventa misuratore. Da quella storia è nato il nostro lavoro sulla misura: ogni bambino ha costruito il proprio bruco di carta, trasformandolo in un'unità personale da riportare più volte dentro un oggetto più grande, un gesto che richiede un controllo percettivo tutt'altro che scontato. Allo stesso modo *La casa a 100 piani*[7] ha dato forma ai numeri ordinali: leggendo la storia di un personaggio che sale verso il centesimo piano, abbiamo costruito il nostro grattacielo di classe, scoprendo che "quinto" e "nono" sono parole difficili da dire, e che persino il piano terra cambia nome da un paese all'altro.
Altri albi aprono a una matematica più poetica. *Il nastro* di Adrien Parlange[8] è un cartonato da cui esce un filo che, pagina dopo pagina, diventa la coda di un topo, uno spaghetto, la corda di un funambolo: consegnare a ogni bambino uno spago e lasciare che lo tenda, lo incurvi, lo spezzi



significa far vivere nel corpo, prima ancora di nominarla, la flessibilità che la matematica chiede sempre.
La stessa apertura l'abbiamo trovata in *Oggetti stra-ordinari* di Tatsuya Tanaka[9], dove oggetti quotidiani diventano paesaggi abitati da omini minuscoli, un modo per tornare sui solidi cambiando prospettiva. C'è infine un albo che ha aperto una porta ancora più delicata: *C'era una volta e ancora ci sarà*[10], un libro-oggetto le cui pagine, concentriche, attraversano il tempo.
Abbiamo costruito piccoli libretti personali, chiedendo ai bambini di disegnarsi a diverse età, e ne sono uscite cose che con la matematica sembrano avere poco a che fare, e che invece le sono strettamente imparentate: la scoperta che anche una sorellina piccola, nel futuro, sarà cresciuta, il pensiero (arrivato da solo) che a un certo punto i nonni potrebbero non esserci più.
Il tempo, prima di essere durata da misurare, è esperienza vissuta; ed è proprio perché la storia attraversata con l'albo lo ha reso tangibile, quasi da poterlo sfogliare con le mani, che i bambini hanno potuto avvicinarsi a un concetto così astratto e, in fondo, così carico.



9. Tanaka T, *Oggetti stra-ordinari*, Orecchio Acerbo, 2025.

10. Schaible J, *C'era una volta e ancora ci sarà*, Orecchio Acerbo, 2021.

Lo spazio, le forme e le misure
Il linguaggio della matematica si costruisce. E se questo è vero per il numero, lo è ancora di più per la geometria, dove è forte la tentazione per l'adulto di cominciare dalle figure piane astratte, già pulite, come se dovesse iniziare da lì. Ma un bambino di sei anni non vive in un mondo bidimensionale: vive immerso in uno spazio fatto di oggetti che si possono prendere in mano, girare, far rotolare. Partire dalla geometria che già conosce (quella tridimensionale, concreta) significa rispettare l'ordine naturale dell'esperienza prima ancora di quello disciplinare. È per questo che il nostro lavoro è cominciato, e si è trattenuto a lungo, sui solidi. Il primo incontro è stato un sacchetto pieno di solidi, e la sola richiesta di esplorarli con le mani prima che con gli occhi, per poi raccontare cosa si era sentito.
È in quella descrizione, cercata con parole proprie, che comincia davvero a costruirsi il linguaggio: stare intorno a un oggetto comune e provare a dire cosa lo accomuna a un altro è un esercizio linguistico e insieme geometrico. Non è un caso che i bambini abbiano inventato nomi propri per le forme che non conoscevano, "doppio triangolo lungo" per il prisma, "tutta triangolo" per il tetraedro: nomi fantasiosi, ma che dicono come guarda un bambino, costruendo categorie proprie prima di ricevere quelle del linguaggio adulto. Lo stesso lavoro è proseguito con la creta (non a caso "geometria" significa, alla lettera, misura della terra) e col disegnare su un foglio piatto oggetti tridimensionali, un livello di astrazione non banale, che i piccoli principianti hanno amato moltissimo.

I problemi, i dati e le parole
Argomentare, raccontare, leggere e restituire un'informazione sono forse gli aspetti della matematica meno visibili (non producono un disegno da appendere), ma sono quelli su cui si gioca tutto il resto. Il cuore di questo filone è un tema che attraversa tutta la matematica: il rapporto con l'errore. Non temerlo, e nemmeno aggirarlo con esercizi già risolvibili in partenza: mettersi davanti a sfide vere, in cui non è chiaro come si arri-

va alla soluzione, è già fare matematica. È quello che emerge dalla definizione stessa di problema nel progetto *Problemi al Centro*, a cura di Rosetta Zan e Pietro Di Martino[11]: un vero problema esiste quando c'è un obiettivo, ma non si sa ancora come raggiungerlo.

All'inizio dell'anno avevamo provato un piccolo teatro matematico, ma l'abbiamo lasciato andare quasi naturalmente quando è arrivato qualcosa di più potente: una cornice narrativa capace di tenere insieme, per un anno intero, il lavoro sui problemi veri. La cassetta della posta della classe è diventata la porta d'ingresso di una redazione segreta di topolini, raggiungibile solo tramite un ascensore e una misteriosa combinazione di numeri. Da lì è arrivata la prima lettera, *Topo Secret per la 1A*, con la domanda che è diventata l'incipit di tutto il percorso: sapete cos'è un problema? Ho lasciato che fossero i bambini a rispondere, e il giorno dopo ho restituito loro le parole raccolte, come materiale su cui ragionare prima di rispondere davvero. Da quella corrispondenza sono nati problemi veri: un bambino per esempio aveva raccontato che d'estate non riusciva a dormire per il chiasso di un albero pieno di uccelli. Come aiutarlo? Abbiamo raccolto sette soluzioni diverse alla lavagna, alcune delle quali portavano dentro di sé altri problemi ancora, in una catena che nessuno ha avuto fretta di chiudere. Anche la combinazione dell'ascensore, con soli due tasti (zero e uno) è diventata un piccolo esercizio di ragionamento combinatorio, rimasto sospeso per mesi come una promessa aperta: è proprio questo non sapere ancora che tiene viva la voglia di continuare a cercare. La corrispondenza, con il tempo, è uscita fisicamente dalla classe quando, in occasione dei ricevimenti con i genitori, una delle risposte dei topolini l'abbiamo consegnata alle famiglie chiedendo di metterla nella cassetta della posta di casa, così che la corrispondenza uscisse anche dall'aula. I bambini, con grande stupore, hanno trovato davvero una letterina dei topolini nella cassetta di casa loro. Le lettere hanno cominciato a circolare per la città, arrivando in momenti diversi: perché non tutte lo stesso giorno? Un ragionamento semplice per un adulto, ma per un bambino di sei anni un piccolo esercizio di logica applicata al mondo reale.

Un momento che ha spinto ancora più a fondo questo lavoro è arrivato quando i topolini hanno posto un problema diverso, non più da risolvere ma da comunicare. Come raccontare a bambini più piccoli, che non sanno leggere i numeri, i dati raccolti per mesi sul meteo, ossia trentacinque giorni di sole, venticinque di pioggia, ventinove nuvolosi, su ottantanove in tutto? La difficoltà maggiore non è stata trovare una soluzione tecnica, ma capire davvero la domanda: che cosa significa comunicare un dato a chi non condivide il tuo stesso codice? Significa smettere di dare per scontato il proprio modo di leggere il mondo, e i bambini, divisi in cinque gruppi, hanno faticato a lungo prima di riuscire a pensare i dati fuori dai numeri scritti. Non è stata una fatica sterile, ma, credo, una delle forme più alte di pensiero matematico che questo primo anno ha potuto offrire.



11. Zan R, Di Martino P, *Problemi al centro. Matematica senza paura*, Giunti Scuola, 2019. http://www.giuntiscuola.it/progetto-problemi-al-centro

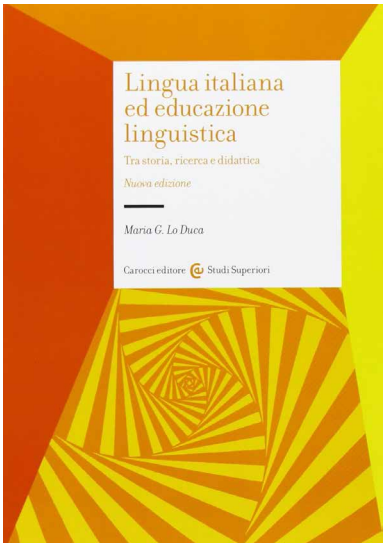
Un anno, uno sguardo

Ripercorsi uno per uno, questi cinque filoni potrebbero sembrare capitoli distinti di un manuale: il corpo, il numero, le storie, lo spazio, i problemi. Non è così che li ho vissuti, e non è così che vorrei fossero letti. Nella vita reale di una classe si intrecciano continuamente, spesso nello stesso gesto: una manciata di fagioli che diventa insieme esercizio di manualità, costruzione del numero e piccola lezione di collaborazione; un albo che apre una domanda di misura e, insieme, una domanda sul tempo che passa; una lettera dei topolini che chiede di argomentare dentro una storia che i bambini hanno già fatto propria. Se questi filoni tornano ciclicamente, con pretesti diversi, è perché rispondono tutti alla stessa domanda con cui ho aperto questo articolo: cosa significa, per un bambino di sei anni, cominciare bene un anno di matematica?

Credo che la risposta non stia in un elenco di attività ben scelte, né in un'accoglienza curata delle prime settimane. Sta in un adulto capace di osservare quanta matematica un bambino porta già con sé (nel gioco, nel corpo, nelle abitudini di casa) e di trasformarla in esperienze dentro cui possa davvero immergersi. È uno sguardo che si fida del corpo prima che della mente, e per questo lascia spazio a fagioli, mani, materiali poveri prima di correre al simbolo; che riconosce nel gioco il luogo dell'apprendimento vero, non un tempo sottratto al lavoro serio; che tratta il numero come una conquista storica, la stessa che l'umanità ha impiegato millenni a costruire, e che ogni bambino ha diritto di attraversare con i propri tempi; che accoglie la fatica e l'errore come parte necessaria del lavoro, non come un incidente da correggere in fretta; che non traccia confini troppo netti tra la matematica e tutto il resto (le storie, lo spazio, il linguaggio, la vita di ogni giorno), perché è proprio lì che il pensiero matematico trova, quasi sempre, le sue occasioni migliori.

Guardato retrospettivamente, un anno intero non è la somma di attività ben progettate in sequenza. È il tempo che un'insegnante si prende per lasciare che ogni bambino attraversi, con i propri tempi e con i propri errori, un tempo che non è propriamente lineare ma è fatto forse più a spirale percorrendo e ripercorrendo il flusso della propria percezione e del proprio pensiero. Cominciare bene, alla fine, significa proprio questo: fidarsi di quel tempo lento, invece di correre per bruciare il traguardo. ●

Maria Giuseppina Lo Duca
Lingua italiana ed educazione linguistica. Tra storia, ricerca e didattica
Carrocci editore, 2013



Due straordinarie vicende hanno interessato la lingua italiana negli ultimi decenni: da una parte un fervore teorico-descrittivo che ha prodotto una serie di opere di altissimo livello; dall'altra un dibattito intenso e appassionato sull'insegnamento dell'italiano, prima come lingua materna, poi anche come lingua seconda. Nelle figure di alcuni grandi protagonisti – studiosi che hanno saputo coniugare la passione per la ricerca con l'impegno per promuovere un rinnovamento radicale nei contenuti e nei metodi della pedagogia linguistica tradizionale – i due campi disciplinari hanno trovato una sintesi feconda. Il volume descrive questa storia complessa e, interpretando i bisogni conoscitivi di coloro che insegnano l'italiano o che si preparano ad insegnarlo, fornisce le informazioni di base oggi indispensabili per confrontarsi col mondo della ricerca linguistica e didattica.

Hanno collaborato a questo numero:

Maurizio Baglioni è un osservatore e commentatore delle dinamiche ecologiche del territorio. Si occupa di biodiversità, grandi predatori e trasformazioni degli ecosistemi mediterranei, con particolare attenzione al rapporto tra attività umane e fauna selvatica. Nei suoi interventi unisce divulgazione scientifica e analisi critica delle politiche ambientali.

Marco Bondini, Ingegnere elettronico di professione e fotografo naturalista nel tempo libero. Il suo interesse è rivolto soprattutto alla macrofotografia, interpretata come mezzo per documentare lo svolgimento della vita nel micromondo degli insetti e degli altri piccoli invertebrati. Ha pubblicato alcune sue foto su prodotti editoriali aventi carattere divulgativo. È membro del consiglio direttivo della Associazione Fotografi Naturalisti Italiani (ANFI).

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

Alessandro Bottacci è stato professore incaricato di "Nature conservation" presso l'Università degli Studi di Camerino e docente nel Master "Governance delle zone montane italiane (area appenninica)", Università degli Studi della Tuscia. È accademico ordinario dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali e vicepresidente della Società Italiana di Restauro Forestale. Ha al suo attivo oltre 160 pubblicazioni scientifiche, alcuni libri e il testo universitario *Conservazione della Natura*.

Rita Di Ianni, maestra di scuola primaria, si è laureata in matematica con una tesi in didattica legata all'astronomia e si è poi laureata in Scienze della Formazione Primaria scrivendo una tesi su *Neuroscienze e apprendimento matematico*. A Casa Cenci, in Umbria, ha conosciuto maestri e maestre che hanno arricchito la sua formazione attraverso l'Officina Matematica di Emma Castelnuovo e il gruppo di Pedagogia del cielo. Da molti anni fa parte del Movimento di Cooperazione Educativa di Pisa. Gestisce il blog *Matematiche non si nasce* e collabora anche con il blog *Lo strumentario per il piano di lavoro*.

Sauro Donati è un astronomo amatoriale italiano, presidente dell'Osservatorio Astronomico di Monte Agliale (LU), noto per le sue scoperte di asteroidi e supernovae, nonché per la sua attività di divulgatore scientifico e scrittore. Appassionato di osservazione del cielo, è autore della scoperta di 22 asteroidi, molti dei quali sono stati ufficialmente numerati e nominati, come 15497 Lucca, 21891 Andreabocelli e 22903 Georgeclooney e altri. Per merito della sua attività, l'asteroide 69977 Saurodonati è stato a lui dedicato nel 2004. Dal 2007 al 2018 ha partecipato anche alla scoperta di 24 supernovae, contribuendo in modo significativo alla ricerca amatoriale in campo astronomico. Oltre alla sua attività astronomica, Donati ha scritto numerose opere letterarie, principalmente di fantascienza.

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.

Riccardo Govoni, già docente di fisica, past president dell'AIF, redattore de La Fisica nella Scuola, per cui ha pubblicato numerosi articoli, giornalista e divulgatore, attualmente ricopre il ruolo di consulente scientifico per il museo di Fisica del Liceo Classico "Virgilio" di Mantova.

Valerio Lazzeri è biologo e dottore di ricerca in biochimica vegetale. Da anni si occupa di botanica, con particolare riferimento alla floristica e alla *citizen science*. Negli ultimi anni si è dedicato ad alcuni aspetti ecologici della gestione ecosostenibile dei pascoli e della transizione tra prato e bosco.

Lucrezia Pedrali è stata insegnante di educazione linguistica nella scuola primaria, redattrice e autrice di numerosi articoli sulla rivista *CEM* e condirettrice del movimento CEM (Centro Educazione alla Mondialità). Nell'ambito della educazione interculturale ha realizzato numerose collaborazioni con Enti e Istituzioni (Università Cattolica, IPRASE Trentino, IRRE Liguria, Comune di Brescia). Ha operato come volontaria e formatrice presso il Centro Promozione Affidi Familiari di Brescia.

Edizioni ETS
Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com
Finito di stampare nel mese di ottobre 2026