

# naturalmente scienza

febbraio 2022

anno 3

numero 1

quadrimestrale

## in questo numero:

**IN PRIMO PIANO:** *Quale futuro ci aspetta* di Vincenzo Terreni • *PNRR: Formazione, istruzione e ricerca. La scommessa per rinascere* di Irene Gatti • **RITRATTO DI FAMIGLIA:** *Tremoctopodidae* di Giambattista Bello • **FOCUS:** *Piano di Transizione Ecologica: cambiamento di scenario?* di Fabio Fantini • *La transizione energetica* di Pietro Barbucci • *La complessità della negoziazione climatica: la COP26* di Yuri Galletti • **UNO SCATTO ALLA NATURA:** *Loricati vestiti di bianco* di Giovanni e Renzo Stimolo • **CONTRIBUTI:** *Sotto le lenti del microscopio (seconda parte: come nascono gli organismi)* di Alessandro Minelli • *Cos'è la biodiversità (e perché ne abbiamo bisogno)* di Joachim Langeneck • *Insetti pronubi nella crisi climatica* di Piero Sagnibene • *Il Codibugnolo di Sicilia* di Mathia Coco, Renzo Tentile, Bruno Massa • **FARE SCUOLA:** *Le domande dell'insegnante* di Maria Castelli • *Le domande dei problemi e... sui problemi* di Lucia Stelli

*Direttore responsabile*

Alessandra Borghini

*Direzione scientifica*

Vincenzo Terreni, Maria Turchetto

*Comitato editoriale*

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

*Proprietà della testata*

Vincenzo Terreni

*Comitato scientifico*

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

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

In copertina e controcopertina:

*Marina di Pisa*, foto di Patrizia Panicucci

*Informazioni e contatti*

<https://www.naturalmentescienza.it>

[redazione@naturalmentescienza.it](mailto:redazione@naturalmentescienza.it)

+39 349 6396739

*Prezzi e condizioni di abbonamento*

singolo fascicolo formato PDF: € 5,00

singolo articolo formato PDF: € 2,00

singolo fascicolo cartaceo: € 11,00

abbonamento annuale privato

(3 numeri) formato PDF: € 10,00

abbonamento istituzionale

(3 numeri) formato PDF: € 15,00

abbonamento annuale privato

(3 numeri) cartaceo: € 25,00

abbonamento istituzionale

(3 numeri) cartaceo: € 35,00

Indirizzare i pagamenti a:

BANCO POPOLARE

IBAN IT38G0503414011000000359148

Registrazione presso il Tribunale di Pisa n. 1/2021

© Copyright 2022

Edizioni ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16 - 56127 Pisa

[info@edizioniets.com](mailto:info@edizioniets.com)

[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

*Distribuzione*

Messaggerie Libri SPA

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

*Promozione*

PDE PROMOZIONE SRL

via Zago 2/2 - 40128 Bologna

## **Un Paese bloccato**

La situazione politica era chiara anche prima delle elezioni del Presidente della Repubblica. Un Parlamento non all'altezza della situazione preferisce confermare il passato dando l'impressione di non avere idee per il futuro. Ferma restando la stima sia per il Presidente della Repubblica che per quello del Consiglio dei Ministri, si palesa l'incapacità di trovare una soluzione diversa, capace di indicare che le forze politiche sono in grado di individuare una strada comune per far funzionare meglio questo Paese. Ci aspettano elezioni amministrative e referendum in primavera e le politiche il prossimo anno: questa partenza non lascia sperare niente di buono. I due principali schieramenti sono già in forti difficoltà interne e al centro prolifera una miriade di piccoli gruppi che aspettano gli eventi prima di muoversi. Il Governo sembra essere all'altezza dei compiti, ma la sua compattezza è messa in discussione continuamente da componenti essenziali che manifestano una decisa propensione ad occuparsi degli interessi di partito più di quelli della Nazione.

In questo numero abbiamo cercato di presentare sinteticamente i problemi a cui il PNRR dovrebbe trovare una soluzione per il nostro futuro di Paese industrializzato che dovrà mantenersi tale e addirittura riuscire a salire nei confronti dei concorrenti per porsi in una situazione di stabilità economica che consenta il rimborso dei debiti destinati a restare sulle spalle dei nostri figli e nipoti. Negli articoli di apertura si propone che l'intero sistema dell'istruzione sia rivisto e innovato a partire dalla formazione iniziale dei docenti, rafforzando le competenze mediante la formazione continua in servizio. Nel successivo si esamina il percorso al fine di accrescere la cultura scientifica al fine di sostenere lo sviluppo del Paese. I problemi da risolvere sono tanti e riguardano infrastrutture materiali e immateriali. Tra queste la più necessaria è quella della conoscenza e formazione. Vengono analizzati in dettaglio gli investimenti previsti dalla componente 2 della Missione 4 del PNRR intitolata "Dalla ricerca all'impresa".

Viene, in seguito, esaminato il percorso della transizione ecologica, energetica e la complessità della negoziazione climatica tra i Paesi di ogni parte del mondo. Si tratta di sostituire nel tempo, ma con scadenze abbastanza certe e non remote, i combustibili fossili che da due secoli sono stati il magazzino energetico del pianeta, ma anche di rimpiazzare in modo efficiente i sistemi di ricerca, estrazione e distribuzione delle fonti energetiche di cui ci siamo serviti finora. Una trasformazione gigantesca che coinvolgerà l'intero sistema sociale e produttivo. Ce la faremo?

## SOMMARIO

### IN PRIMO PIANO

Quale futuro ci aspetta <i>di Vincenzo Terreni</i> .....	5
PNRR: Formazione, istruzione e ricerca. La scommessa per rinascere <i>di Irene Gatti</i> .....	11

### RITRATTO DI FAMIGLIA

Tremoctopodidae <i>di Giambattista Bello</i> .....	19
---	----

### FOCUS: TRANSIZIONE ECOLOGICA

Piano di Transizione Ecologica: cambiamento di scenario? <i>di Fabio Fantini</i> .....	27
La transizione energetica <i>di Pietro Barbucci</i> .....	31
La complessità della negoziazione climatica: la COP26 <i>di Yuri Galletti</i> .....	43

### UNO SCATTO ALLA NATURA

Loricati vestiti di bianco <i>di Giovanni e Renzo Stimolo</i> .....	47
--	----

### CONTRIBUTI

Sotto le lenti del microscopio. Parte seconda: come nascono gli organismi <i>di Alessandro Minelli</i> .....	49
Cos'è la biodiversità (e perché ne abbiamo bisogno) <i>di Joachim Langeneck</i> .....	55
Insetti pronubi nella crisi climatica <i>di Piero Sagnibene</i> .....	63
Il Codibugnolo di Sicilia <i>Aegithalos caudatus siculus</i> <i>di Mathia Coco, Renzo Ientile, Bruno Massa</i> .....	69

### FARE SCUOLA

Le domande dell'insegnante <i>di Maria Castelli</i> .....	75
Le domande dei problemi e... <i>sui</i> problemi <i>di Lucia Stelli</i> .....	85

# in primo piano

## Quale futuro ci aspetta

Vincenzo Terreni

The country is stabilizing in terms of the pandemic and looks to the future to recover in quality an education system that has not been able to withstand comparison with others in the OECD results. The proportion of “illiterates returning” is also worrying. The PNRR (National Recovery and Resilience Plan) in the past would have been considered a “dream book”; now outlines essential projects for our future as an industrialized country. This objective requires that the entire education system be reviewed and innovated; the initial training of teachers must be radically changed, strengthening skills through continuous training in service.

Keywords: *PNRR (National Recovery and Resilience Plan), School system reform*

Tra poco verranno applicati gli ultimi passaggi essenziali per uscire dalla crisi causata dalla pandemia da coronavirus. Intanto l’industria ha ricominciato a produrre e a vendere ad un ritmo sostenuto e il Governo sembra reggere allo stress con l’aumento della credibilità interna e internazionale basata su prospettive riformatrici in grado di superare le difficoltà generate dalla crisi sanitaria e quelle cronicamente pregresse che non sono da meno. La scuola ha ripreso la sua attività con un ricorso alla didattica a distanza del tutto eccezionale, quanto necessario per i prevedibili casi d’infezione. In un Paese come il nostro, che vuole rimanere nell’ambito dei 7 Paesi più industrializzati del mondo, il funzionamento del sistema formativo è essenziale. Il tempo perduto nella fase acuta della pandemia dagli studenti non è stato recuperato né lo sarà mai completamente e certo non per tutti, si tratta di un buco formativo che lascerà in suoi segni, ma potrà essere sostanzialmente colmato da un miglioramento progressivo della qualità della scuola e dell’università. Non è credibile che siano sufficienti ritocchi per cambiare la situazione di un quadro complessivamente deludente nel complesso del nostro Paese. I risultati dei test internazionali sul livello di apprendimento degli studenti medi, ormai da anni, confermano un risultato mediocre nella formazione delle scuole rispetto agli altri Paesi sviluppati. Inoltre le graduatorie interne sono molto disomogenee: il Nord Italia si colloca mediamente nella fascia alta nel confronto internazionale, il Centro (con differenze interne anche rilevanti) al centro, mentre il Sud e le Isole sono alquanto più in basso.



Lettura			Matematica			Scienze		
1	Cina (province di Beijing, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang)	555	1	Cina (province di Beijing, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang)	591	1	Cina (province di Beijing, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang)	590
2	Singapore	549	2	Singapore	569	2	Singapore	551
3	Cina (Macao)	525	3	Cina (Macao)	558	3	Cina (Macao)	544
4	Cina (Hong Kong)	524	4	Cina (Hong Kong)	551	4	Estonia	530
5	Estonia	523	5	Taiwan	531	5	Giappone	529
6	Canada	520	6	Giappone	527	6	Finlandia	522
	<b>Media OCSE</b>	<b>487</b>		<b>Media OCSE</b>	<b>489</b>		<b>Media OCSE</b>	<b>489</b>
32	Italia	476	31	Italia	487	40	Italia	468

**Risultati del 2019 dell'indagine organizzata dall'OCSE** (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) PISA (Programma per la valutazione internazionale dell'allievo)

Questo rendimento del nostro sistema formativo ha radici lontane: gli anni in cui sono state presentate tante proposte di riforma della scuola, dalla primaria alle superiori, sono ormai lontani e non hanno sostanzialmente prodotto risultati significativamente positivi. Solo pochi cambiamenti spesso rientrati al cambiar dei Ministri. Un inizio d'anno sempre turbolento per una politica del personale non adeguata alle necessità ha portato ad un numero di titolari al di sotto dei bisogni, raggiunti poi da precari condannati ad una vita professionale di bassa qualità. I presidi, diventati dirigenti, spesso son rimasti presidi e le scuole, dichiarate autonome, non hanno saputo sfruttare questa maggiore libertà. Insomma se realmente si vuole collocare il sistema formativo ad un livello superiore debbono aumentare le risorse economiche e intellettuali per consentire questa transizione verso valori ritenuti ormai indispensabili per una economia e un livello di vita migliore ed esteso ad ogni fascia della popolazione.

Da non molto tempo la stampa si è accorta dell'esodo massiccio di laureati, prevalentemente in discipline scientifiche e tecniche, verso ogni angolo della Terra che offrisse loro la possibilità di far vedere quante belle cose avevano imparato nelle università italiane. Non è raro che scienziati intervistati all'estero rivelino con il loro nome e l'italiano perfetto, la loro origine. All'estero ci sono

andati perché là hanno riconosciuto i loro meriti ed hanno affidato loro incarichi anche di grande responsabilità. I nostri emigrati d'intelletto non pensano di ritornare in patria sia per il trattamento di cui beneficiano all'estero, che per il clima molto favorevole alla ricerca. Lo Stato che li accoglie beneficia di un "capitale umano" frutto in Italia degli investimenti familiari e istituzionali: uno studio della Confindustria ha stimato per un 25enne 165.000 € investiti dalla famiglia, ed altri 100.000 € dallo Stato per la scuola e l'università. L'ISTAT ha valutato in circa 25 miliardi € all'anno la perdita per mancate tasse. In pratica l'Italia non cerca, in modo convinto ed efficace, di limitare la "fuga dei cervelli" mediante incentivi alle assunzione di un maggior numero di laureati in scienze e tecnologia che costituirebbero un motore nuovo e dinamico per la nostra ricerca e sviluppo economico ed una maggiore efficienza anche degli uffici pubblici, perché siamo, anche sotto questo aspetto, uno degli ultimi Paesi per il rapporto laureati/occupati. L'ISTAT rileva che Il "tasso di occupazione della popolazione laureata residente in Italia è superiore solo a quello greco ed è di ben 5 punti più basso di quello medio europeo (81,4% verso 86,3%); tale differenza si riduce al crescere dell'età ma si annulla solo nelle classi di età più mature, dai 50 anni in su". In Italia i diplomati tra i 25 e i 64 anni hanno

un titolo di scuola media superiore in ragione del 62,2% nel 2019, la % media europea (nella UE a 28 Paesi) era del 78,7%, in Francia e in Germania superavano abbondantemente l'80%. Come prevedibile con l'Università le cose peggiorano: nello stesso intervallo di età siamo al 19,6%, in Europa in media il 33%. Inoltre oltre a pochi studenti universitari sono ancora meno le lauree scientifiche, l'OCSE rileva che solo il 25% si laurea in Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica contro il 37% della Germania e il 29% del Regno Unito. Per le donne va anche peggio. In Italia, come le altre nazioni ci sono gli analfabeti (coloro che sono privi di qualsiasi supporto scolastico) e gli analfabeti di ritorno (fenomeno purtroppo molto diffuso che, dopo un percorso di studi che copre l'obbligo scolastico, consiste nella perdita progressiva delle competenze acquisite se non adeguatamente utilizzate come la perdita di un linguaggio vario e preciso e la ridotta capacità di lettura ed di calcolo).

Quindi, pur essendo andati a scuola il 98,6% degli italiani, l'analfabetismo di ritorno affligge circa il 30% di cittadini tra i 25 e i 65 anni (dati forniti dall'Istituto Carlo Cattaneo): questi presentano limitazioni nella comprensione, lettura e calcolo con conseguenze multiple: difficoltà relazionali, scarsa autonomia, scarsa cura di sé, scarse prospettive di lavori decorosamente retribuiti. Una quota tutt'altro che irrilevante della popolazione non è in grado quindi di leggere, con la possibilità di comprendere, un testo di lunghezza superiore a poche righe e neppure comprendere il senso di un lungo discorso, anche leggere una bolletta diventa problematico, cartine stradali, bugiardini delle medicine etc. Il calcolo diventa arduo e possedere una calcolatrice non serve a molto se si è perso il significato di moltiplicazione e divisione. Si rimane quindi esclusi dall'uso di macchinari complessi e di mezzi informatici ormai di uso pressoché obbligato per tutti. Rimane anche preclusa la possibilità di comprensione anche di un giornale radio o televisivo senza neppure poter pensare ad argomenti specifici come per esempio gli aspetti non solo scientifici, ma anche economici, storici o sociali. È quindi praticamente im-

possibile elaborare delle scelte personali fondate sul ragionamento.

Il fenomeno deve essere contrastato, molto viene tentato, ma ancora non sono raggiunti risultati soddisfacenti.

### **Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza**

I progetti per il futuro del nostro Paese sono in gran parte raccolti in un documento che potrebbe risultare decisivo per cambiare in meglio la vita dei suoi prossimi cittadini. Questo per le maggiori possibilità di acquistare una conoscenza molto più ampia dell'attuale, una vita più sana, in un ambiente risanato e stabilizzato avendo perduto le minacce di un dissennato sviluppo fondato sulla depredazione senza limiti delle risorse del pianeta.

La lettura del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) non è facile, ma neppure scoraggiante, in altro periodo sarebbe stato liquidato come "libro dei sogni", ma nella nostra situazione si tratta di una serie di progetti che, se non verranno realizzati bene e in tempo, trasformeranno la vita dei nostri discendenti in una maledizione da incubo.

Tanto per capirsi il "Sommaro" delle 337 pagine del PNRR si apre con 4 pagine di acronimi bilingue da: WEEE Waste from Electrical and Electronic Equipment (Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, RAEE). Il resto del documento è diviso in 4 Parti: 1. Obiettivi generali e struttura del Piano; 2. Riforme ed investimenti del Piano; 3. Attuazione e monitoraggio del PNRR; 4. Valutazione dell'impatto macroeconomico del PNRR. Ciascuna parte è suddivisa in "Missioni".

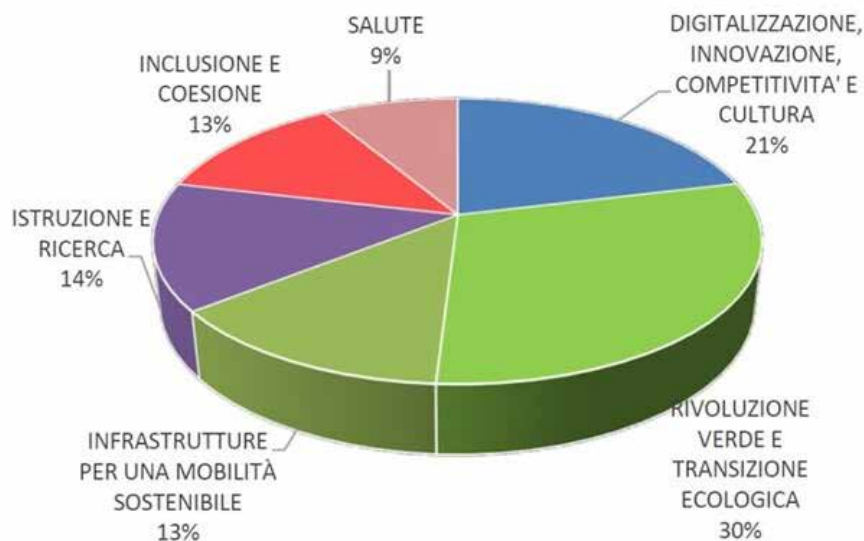
### **Istruzione e ricerca**

"Istruzione e ricerca" è la Missione 4 della quarta della Parte. Il settore di cui ci occuperemo occupa una posizione centrale in tutto il piano per la sua importanza strategica. Interessante e chiara la torta con la ripartizione percentuale degli investimenti.

L'obiettivo è "Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione dagli asili nido all'università" Il primo investimento riguarderà gli asili nido

e le scuole per l'infanzia per la creazione di 228.000 nuovi posti (spesa prevista:  $4,6 \times 10^9$  €) Il Ministero dell'Istruzione coordinerà gli interventi con la collaborazione del Ministero dell'Interno e della Famiglia e dei comuni per la fase esecutiva. Lo stesso Ministero dell'Istruzione, con le precedentemente citate collaborazioni, prevede una estensione del tempo pieno e delle mense per un totale di 1.000 edifici tra nuovi e ristrutturati (spesa prevista:  $0,3 \times 10^9$  €) Anche le infrastrutture sportive verranno potenziate sin dalla scuola primaria per un totale di 400 edifici. In collaborazione con il Dipartimento per lo Sport verranno costruite e ristrutturate 235 palestre. Nuove aule didattiche, laboratori e cablaggio per le Scuole 4.0 (spesa prevista:  $2,1 \times 10^9$  €). "La Missione 4 mira a rafforzare le condizioni per lo sviluppo di una economia ad alta intensità di conoscenza, di competitività e di resilienza, partendo dal riconoscimento delle criticità del nostro sistema di istruzione, formazione e ricerca". Le spese previste per il "Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione dagli asili all'università"  $19,44 \times 10^9$  € e "Dalla ricerca all'impresa"  $11,44 \times 10^9$  € per un totale di  $30,88 \times 10^9$  €.

Tutti i punti del Piano sono giustificati analiticamente sotto i molti aspetti che determinano la debolezza complessiva del nostro sistema formativo. Si parte dalla disponibilità ristretta di posti negli asili-nido al di sotto della media europea e della conseguenza negativa per le donne di trovare lavoro. Viene rilevata una forte differenza territoriale nel rendimento scolastico insieme ad un tasso di abbandono cronico ed elevato al Sud più che al Nord. Anche il tempo pieno nella scuola primaria consente una scuola migliore ed una maggior libertà per gli impegni di lavoro familiari specialmente femminili. Anche il basso



numero dei laureati limita lo sviluppo economico e si offrono maggiori possibilità di alloggio e aiuti economici per gli studenti universitari. Il numero dei dottorati deve aumentare per rendere le nostre industrie ad alta intensità di capitale. Inoltre esiste un disallineamento tra mercato del lavoro e formazione: c'è carenza di tecnici e laureati in scienze e una abbondanza di laureati in discipline umanistiche che non trovano una occupazione adeguata. R&S (Ricerca e Sviluppo, le sigle abbondano come le denominazioni in inglese) sono arretrati in Italia al di sotto della media europea, contemporaneamente la bassa attrattiva di posti qualificati e adeguatamente retribuiti con possibilità di carriera sono rari in Italia mentre paiono facilmente conquistabili dai nostri talenti all'estero. Anche le industrie debbono potenziare l'innovazione e la ricerca per portarsi sui limiti europei. In buona sostanza occorre: "Potenziare l'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido all'Università" (pagina 229 del PNRR). Anche in questo caso si elencano gli obiettivi generali per arrivare ai risultati desiderati. Aumento dei posti per gli asili e tempo scuola nella primaria; Test PISA e Invalsi consolidati per un monitoraggio costante e comparazione internazionale. Maggiore attenzione agli abbandoni nella secondaria, potenziamento e revisione degli Istituti Tecnici. L'intero sistema dell'istruzione deve essere rivisto e innovato. In sostanza tutta la scuola dovrà subire profonde innovazioni che tengano conto



delle caratteristiche di debolezza che ha manifestato in modo sempre più evidente per troppi anni. L'aspetto della carenza di una formazione scientifica di qualità permea tutto il documento e gli elementi di concretezza per ovviare al problema non mancano.

### **Miglioramento qualitativo e ampliamento quantitativo dei servizi di istruzione e formazione**

“Per ridefinire il quadro normativo ed istituzionale in modo che gli investimenti stessi possano essere efficaci, occorrono finanziamenti sul PNRR di  $11,01 \times 10^9$  €. Questi coprono l'intera filiera dell'istruzione”.

Asili nido e dell'infanzia dovranno coprire le esigenze attuali e essere pronte ad aumenti delle richieste, anche di tempo pieno. Uno sguardo attento anche all'educazione motoria destinata a diffondersi sempre più anche per diffondere lo sport, in collaborazione con le Amministrazioni locali. Vengono presentate delle cifre sia per quanto riguarda gli impegni finanziari per il recupero, la riqualificazione e la costruzione di nuovi edifici. Tutto ciò comporterà un aumento della occupazione nel settore che attraversa una crisi senza precedenti. Ciascun passaggio terrà presente il raggiungimento degli obiettivi europei della transizione verde.

Un nota particolare meritano gli Istituti Tecnici Statali che verranno riformati per offrire una maggiore scelta di percorsi per “rafforzare la presenza attiva nel tessuto imprenditoriale dei singoli territori”. Non si deve perdere di vista l'integrazione dei percorsi ITS con il sistema universitario. Si persegue l'obiettivo di aumentare del 100% il numero degli attuali iscritti.

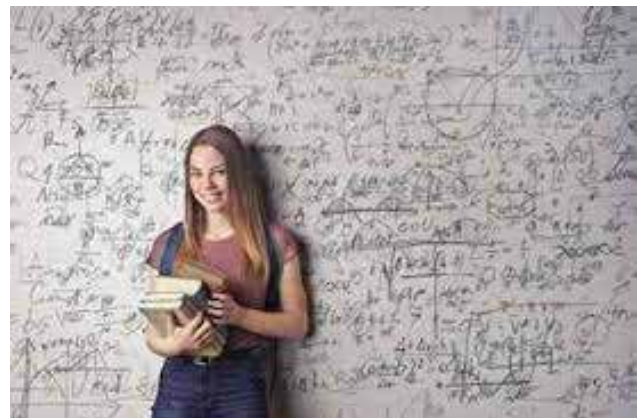
Abbandono scolastico, bassa percentuale di adulti con titoli di studio terziari, scollamento tra istruzione e domanda di lavoro, perdita di talenti, ridotta domanda di innovazione, limitata integrazione dei risultati della ricerca nel sistema produttivo, rappresentano i punti più critici che impediscono alla nostra economia di decollare creando maggiore efficienza, minori sprechi e una tenore di vita più elevato sia per la maggiore

ricchezza che per i benefici di un maggiore rispetto dell'ambiente.

Per ottenere simili risultati dal sistema formativo è necessario ripensare alla formazione dei docenti in modo radicale. Occorre modificare le procedure concorsuali per l'immissione in ruolo, l'anno di formazione e rafforzare le competenze mediante una formazione continua in servizio.

A questo scopo verrà istituita la “Scuola di Alta formazione obbligatoria per dirigenti scolastici, docenti e personale tecnico-amministrativo”. Un organismo qualificato per la formazione del personale scolastico in linea con gli standard europei attraverso corsi erogati *on line*. Stabilirà le linee di indirizzo per la formazione, la selezione e il coordinamento delle attività formative in relazione alla progressione della carriera.

“La Scuola di Alta Formazione” sarà una struttura leggera e funzionale all'erogazione *on line* dei corsi di formazione dotata di un comitato tecnico-scientifico di elevato profilo professionale (Presidenti di INDIRE, INVALSI, Accademia dei Lincei, rappresentanti OCSE e UNESCO, direttori dei Dipartimenti universitari di pedagogia che partecipano in ragione del loro incarico e senza oneri ulteriori). Le funzioni amministrative saranno garantite dal Dipartimento per il sistema educativo di istruzione formazione. La Scuola svolgerà funzioni di indirizzo e coordinamento dell'attività formativa, che si svolgerà solo *on line*, per tutto il personale scolastico. Saranno coinvolti, non solo Indire e Invalsi ma anche Università italiane e straniere.



L'attuazione della riforma sarà a carico del Ministero dell'Istruzione. La promulgazione della legge è prevista nel 2022 e la piena attuazione della riforma avverrà entro il 2025.

Per ora non è esplicitato o previsto un coinvolgimento diretto e qualificato di insegnanti e personale scolastico nella ideazione e messa a punto di un dispositivo cruciale per il miglioramento della didattica e per lo sviluppo professionale del personale della scuola. Un'azione formativa efficace dovrebbe agganciarsi a quanto di buono già stato realizzato e fare i conti con le attuali prassi scolastiche per assicurare la partecipazione attiva dei destinatari. Sarebbe determinante che in fase di progettazione e attuazione della Scuola di Alta Formazione si coinvolgano la scuola, insegnanti e dirigenti scolastici, facendo tesoro di esperienze formative pregresse che hanno dato tangibili frutti della loro efficacia.

È necessario valorizzare tutte quelle attività controllate di sperimentazione formativa e di innovazione in vari ambiti disciplinari (es. Piano ISS per le Scienze sperimentali) promosse negli ultimi decenni dal MPI (MIUR) e validate da personale ispettivo ed esperti di grande competenza. Si tratta di proposte innovative sotto il profilo metodologico e organizzativo, che hanno coinvolto associazioni disciplinari e autorevoli organismi culturali, insieme a scuole e docenti su tutto il territorio nazionale. Non per ripeterle, ma per farne i punti di partenza di una nuova stagione di aggiornamento e formazione dei docenti. Purtroppo queste attività sono rimaste patrimonio di un numero limitato di scuole e sono ancora presenti grazie a chi tra i docenti aveva partecipato a idearle e realizzarle. Non dobbiamo disperdere un patrimonio professionale, che costituisce un punto di partenza per aumentare la professionalità nella scuola e che è costato impegno e risorse non trascurabili. ●

Un ringraziamento a Irene Gatti per i documenti forniti, i suggerimenti e le correzioni.

### Collana PiGreco. *Clima, Ambiente, Salute*



Sono usciti i primi due libri della collana *PiGreco. Clima, Ambiente, Salute*, di Edizioni ETS, dedicata a Pietro Greco, noto maestro del giornalismo scientifico scomparso a dicembre 2020.

La collana, diretta da Fabrizio Bianchi, epidemiologo ambientale, che ha studiato gli impatti sulla salute delle comunità di impianti industriali in numerose aree italiane. Fabrizio Bianchi ha convocato nel comitato scientifico della collana un eterogeneo gruppo di studiosi che operano nel settore sanitario, della comunicazione, della filosofia ed epistemologia, del diritto, della sociologia, delle scienze ambientali e dell'economia.

In comune la convinzione che sia oggi importante fare divulgazione e approfondire i temi legati alla relazione tra ambiente e salute alla luce dei cambiamenti climatici in corso, relazione che configura una molteplicità di rapporti a più livelli tra fenomeni complessi e necessita di competenze pluridisciplinari a confronto. La pandemia da Covid-19 rende ancora più drammatico e urgente lo studio delle relazioni tra clima, ambiente, salute e il diritto alla conoscenza. Nella società cresce la domanda di qualità dell'ambiente e di salute e l'apporto della conoscenza scientifica è fondamentale per dare forza alle argomentazioni e per alimentare il dibattito nella società civile, attraverso flussi continui di comunicazione e partecipazione. La conoscenza, come bene immateriale per eccellenza su cui si fonda lo sviluppo della società post-industriale, è la base della "società democratica della conoscenza", che Pietro Greco, a cui è dedicata la collana, ha messo al centro del suo lavoro, che rimane un riferimento imprescindibile per lo studio e l'approfondimento in molteplici settori.

I due libri pubblicati partono entrambi dal lavoro realizzato nell'ambito del progetto CISAS, Centro Internazionale di Studi avanzati su Ambiente, ecosistema e Salute umana, in tre aree ad alto rischio dell'Italia meridionale: Augusta-Priolo, Milazzo e Crotone. Il primo è *Comunicare ambiente e salute. Aree inquinate e cambiamenti climatici in tempi di pandemia*, a cura di Liliana Cori, Simona Re, Fabrizio Bianchi e Luca Carra, recensito a p. 18. Il secondo è *Tutto questo un giorno sarà mio? Illustrazioni di studenti su ambiente e salute in aree inquinate*, a cura di Anna Lisa Alessi, Girolama Biondo, Liliana Cori e Susanna Giorgi, recensito a p. 40.

# PNRR: Formazione, istruzione e ricerca. La scommessa per rinascere

Irene Gatti

The Censis annual report defines the PNRR a bigger and more difficult undertaking than the Marshall Plan. In fact, Covid has aggravated the working situation, causing the explosion of the employment and PIL problems that have been with us for at least a decade. We have a country to mend and rebuild, in a climate that is that of a post-war period without war victims. One of the objectives of the PNRR is to increase scientific culture to support the development of the country. There are many problems to be solved and they concern tangible and intangible infrastructures. Among these, the most necessary infrastructure is that of knowledge and training. The investments envisaged by component 2 of Mission 4 of the PNRR, entitled "From research to business", are analyzed in detail here.

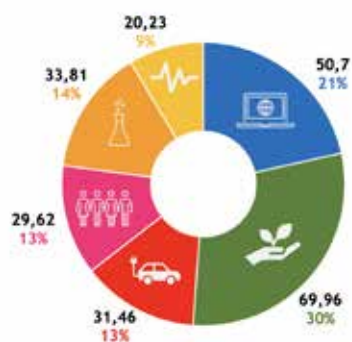
Keywords: *PNRR (National Recovery and Resilience Plan), Education, Research*

*Quella che stiamo vivendo non è semplicemente un'epoca di cambiamenti, ma è un cambiamento di epoca*  
Papa Francesco

Il 26 novembre 2021 il Presidente del Consiglio, Mario Draghi, e il Presidente della Repubblica Francese, Emmanuel Macron, hanno firmato il "Trattato per una cooperazione bilaterale rafforzata" al Quirinale. Il 29 novembre si è discussa la riforma del CNR, nel contesto del disegno di legge di bilancio 2022. Il 30 novembre il Ministro Bianchi ha presentato in conferenza stampa il PNRR per la scuola. Il 3 dicembre il Censis presenta il 55° Rapporto sulla situazione sociale del Paese, in cui si parla del PNRR come un'impresa più ardua e ampia del piano Marshall. Quattro eventi, all'apparenza eterogenei, che si susseguono in poco più di una settimana, che scandiscono il processo in atto per la ricostruzione dell'Europa post-pandemia attraverso il PNRR (che ne è lo strumento finanziario) e il trattato tra Francia e Italia, strumento politico per una nuova alleanza europea che si spinge a unificare sotto molti punti vista i percorsi delle due nazioni.

Il rapporto annuale del Censis definisce il PNRR un'impresa più ardua e ampia del Piano Marshall. Un percorso lungo, in discontinuità col passato, l'ultima occasione per un paese in crisi profonda. Manca il coraggio di guardare avanti, ma c'è anche un'aspettativa delle persone verso un nuovo inizio, individuale e collettivo. Questa aspettativa è condizione necessa-

## LE SEI MISSIONI



ria, ma non sufficiente per vincere questa sfida terminale, compensando in qualche modo l'afasia del dibattito politico e la comunicazione frastronante dei media. E deve essere valorizzata, scommettendo sul ruolo dei corpi intermedi per un coinvolgimento di massa. Tante le preoccupazioni: negli ultimi 30 anni l'Italia è l'unica economia avanzata in cui le retribuzioni sono calate del -2,9%, a fronte della crescita, in qualche caso eclatante, di altri stati europei (+276,3% della Lituania, il primo Paese in graduatoria, +33,7% in Germania, +31,1% in Francia.). Possiamo vantare un premio Nobel prestigioso, quello per la Fisica a un italiano, Giorgio Parisi. Ma al possesso di titoli di studio non corrispondono risultati soddisfacenti nella dimensione sociale e lavorativa. Una percentuale maggioritaria di giovani non è ricompensata dallo studio in termini occupazionali. Troppi impieghi sono sottodimensionati e mal pagati, troppo bassi gli stipendi di primo ingresso, insufficienti a rendere i giovani autonomi. Pesano poi il rischio di erosione del patrimonio delle famiglie e le incognite sul risveglio dei consumi dopo la depressione della domanda interna, ancora inadeguata a ricollocare il Paese sui livelli di spesa delle famiglie del 2019 e il complotto contro il lavoro attraverso il gioco al ribasso della domanda e dell'offerta. Terribili a questo proposito i numeri del rapporto che incrociano occupazione e scolarità: "Quasi un terzo degli occupati possiede al massimo la licenza media. Sono 6,5 milioni nella classe di età 15-64 anni, di cui 500.000 non hanno titoli di studio o al massimo hanno conseguito la licenza elementare. Anche tra i poco meno di 5 milioni di occupati di 15-34 anni quasi un milione ha conseguito al massimo la licenza media (il 19,2% del totale), 2.659.000 hanno un diploma (54,2%) e 1.304.000 sono laureati (26,6%)"<sup>1</sup>. L'istruzione non è più riconosciuta come "l'ascensore sociale" che nel pri-

mo trentennio del dopoguerra ha rimodellato la società italiana e garantito una trasformazione sociale profonda. Tra le tante emergenze il primo fattore critico è l'inverno demografico. "Tra il 2015 e il 2020 si è verificata una contrazione del 16,8% delle nascite. Nel 2020 il numero di nati ogni 1.000 abitanti è sceso per la prima volta sotto la soglia dei 7 (6,8), il valore più basso di tutti i Paesi dell'Unione europea (media Ue: 9,1). La grande maggioranza delle famiglie che stavano pensando di avere un figlio ha deciso di rinviare (55,3%) o di rinunciare definitivamente al progetto genitoriale (11,1%)". L'Italia affronta la grande sfida della ripresa post-pandemia con scarsità di risorse umane su cui fare leva.

I Neet, i giovani che non studiano e non lavorano, nel 2020 erano 2,7 milioni, pari al 29,3% del totale della classe di età 20-34 anni: +5,1% rispetto all'anno precedente. Nel Mezzogiorno sono il 42,5%, quasi il doppio dei coetanei che vivono nelle regioni del Centro (24,9%) o nel Nord (19,9%). È il dato più elevato d'Europa, che negli anni continua ad aumentare. La scuola non riesce a contrastare divari e disuguaglianze. L'ultima rilevazione INVALSI ha evidenziato un peggioramento delle performance degli studenti italiani rispetto al 2019. La didattica a distanza ha accentuato le difficoltà nel contrastare gli effetti negativi di bassi status socio-economici e culturali dello studente.

### **Dopo il Covid il PNRR**

Il Covid ha aggravato la situazione lavorativa facendo esplodere i problemi di occupazione e di PIL che ci accompagnano almeno da un decennio. Abbiamo un Paese da ricucire e ricostruire, in una clima che è quello di un dopo guerra senza vittime belliche, in un'incertezza che tocca il cuore del sogno democratico. L'Europa ha ridisegnato un futuro sostenibile, equo ed economicamente

1. Considerando gli occupati con una età di 15-64 anni, la quota dei diplomati scende al 46,7% e quella dei laureati al 24,0%. Un'occupazione povera di capitale umano, una disoccupazione

che coinvolge anche un numero rilevante di laureati e offerte di lavoro non orientate a inserire persone con livelli di istruzione elevati indeboliscono la motivazione a fare investimenti nel ca-

pitale umano. L'83,8% degli italiani ritiene che l'impegno e i risultati conseguiti negli studi non mettono più al riparo i giovani dal rischio di dover restare disoccupati a lungo. L'80,8% degli ita-

liani (soprattutto i giovani: l'87,4%) non riconoscono una correlazione diretta tra l'impegno nella formazione e la garanzia di avere un lavoro stabile e adeguatamente remunerato.

rafforzato. È impegnata nel recupero di gap tecnologici, nello sviluppo di produzioni e fonti di energia ecocompatibili, rafforzando l'autonomia del sistema produttivo nel rispetto dell'ambiente. Il PNRR è lo strumento ideato per un cambiamento sistemico di infrastrutture materiali e immateriali, a nostra disposizione grazie sia a fondi UE, sia all'indebitamento ulteriore del Paese. Richiede un'assunzione di responsabilità generale. Si configura come sorta di gigantesco bando di gara che propone l'*offerta* di risorse importanti ad una platea di possibili beneficiari. Presuppone quindi che le *risorse rese disponibili* dal Governo incrocino i *bisogni reali della domanda* con progetti approvati, quantitativamente e qualitativamente adeguati alle trasformazioni che il PNRR persegue. Le amministrazioni centrali e gli Enti pubblici dovranno elaborare piani di spesa e bandi di gara. Comuni, province, città metropolitane, EPR (Enti Pubblici di Ricerca) e Università, strutture sanitarie, imprese, scuole, privato sociale, anche aggregati in forme consortili dovranno richiedere fondi, rispondendo ai bandi e a loro volta anche affidando ad altri l'esecuzione di opere e servizi. Il PNRR richiede il rispetto dei tempi previsti e delle regole di spesa, ha bisogno di risorse umane e strumentali adeguate alla messa in opera delle diverse misure e impone il rigoroso governo di procedure, tempi e rendicontazioni.

L'incrocio *domanda/offerta* sarà possibile con strumenti di pilotaggio efficienti ed efficaci.

Il ridisegno sistemico dell'Italia, derivante dalle varie iniziative che verranno approvate, richiede adattamenti in tempo reale delle azioni progettate. Sono necessari rigore e flessibilità.

I cambiamenti richiesti hanno bisogno di risorse umane qualificate, poiché l'assenza di competenze è una delle cause più gravi del mancato utilizzo dei fondi comunitari, per procedure di spesa complesse che spesso dissuadono dall'assumere impegni. I sindaci hanno già sottolineato l'urgenza di aiuti concreti per affrontare i compiti loro assegnati. In particolare al Sud è necessaria un'inversione di tendenza nelle modalità di utilizzo dei fondi comunitari, se si vuole vincere la scommessa del PNRR. Per dare una risposta a questo problema,

è stato attivato il portale inPA <https://www.inpa.gov.it>, Portale Nazionale del reclutamento a supporto dell'Ufficio per i concorsi e il reclutamento del Dipartimento della Funzione Pubblica. Si tratta di un nuovo sistema di reclutamento pubblico per velocizzare, semplificare e digitalizzare i processi organizzativi per il reclutamento del personale nelle pubbliche amministrazioni, riducendo costi economici e sociali. Tra gli strumenti di supporto c'è il sito *italiadomani* <https://italiadomani.gov.it> su cui si raccolgono varie informazioni, secondo un format europeo. E i singoli Ministeri stanno implementando i loro siti con aree dedicate al PNRR. Al momento tutti i media sono variamente impegnati su questo fronte e segnalano quotidianamente avanzamenti e criticità del PNRR.

Il Piano che – è bene ricordarlo – nasce per dare una spinta competitiva all'economia europea, scommette sullo sviluppo e sull'innovazione scientifica e tecnologica, sulle politiche ambientali e su quelle energetiche. Incrocia e sposa altre tematiche europee individuando tre priorità: il *gender gap*, lo sviluppo territoriale, la spinta all'occupazione e alla formazione dei giovani.

Nel nostro Paese l'occupazione femminile è ancora insufficiente e le opportunità per le donne sono limitate dalla conciliazione dei compiti di cura che gravano interamente su loro. È plateale la differenza tra il Nord e il Sud del Paese. Il Sud è segnato dalla dispersione scolastica e dai risultati ancora critici del sistema d'istruzione e formazione. Le misure del PNRR vogliono andare al cuore dei problemi. E con esse saranno varate numerose riforme classificate come orizzontali, trasversali, di settore, abilitanti. Toccheranno i temi della giustizia, del fisco, della PA, della Scuola, della formazione, dell'università e della ricerca, della sanità. È un piano sistemico, di alta complessità perché chiama in causa tutti i livelli di governo territoriale e centrale, tocca le infrastrutture materiali e immateriali del paese, coinvolge tutta la popolazione.

È un programma di *ricostruzione economica* prima di tutto: negli ultimi 25 anni l'Italia è cresciuta dello 0,8% annuo. Ma è anche un piano di *ricostruzione sociale* dove le persone – giova-

ni, donne, lavoratori, ricercatori, insegnanti, imprese, amministratori, politici – sono chiamati in causa fino al 2026.

L'attenzione pubblica per fortuna è altissima e ogni giorno i mezzi di comunicazione illustrano aspetti specifici e criticità attuative del PNRR. Tutti si attendono molto da questo piano che dovrebbe ridare forma e contenuto ai servizi principali, agli assetti economici, agli stili di vita, ai diversi livelli di governo del Paese. Ma è evidente anche la difficoltà dell'impresa. Si tratta di aggredire i punti deboli intorno a cui ci si dibatte invano da anni.

#### **La missione 4: Istruzione e ricerca**

Uno degli obiettivi del PNRR è accrescere la cultura scientifica per sostenere lo sviluppo del Paese. C'è bisogno di una inversione di tendenza, secondo il Censis. Infatti “Se in media il 33% degli europei afferma di nutrire molto interesse per la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico, la percentuale degli italiani si ferma al 13%. La quota della popolazione italiana che non manifesta alcuna attenzione per la scienza e la tecnologia è pari al 31%, a fronte di una media europea del 18%. Il 46% degli europei concorda con l'affermazione « la scienza è così complicata che non ne capisco molto”, ma il dato in Italia sale al 58%. La scelta delle lauree STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)<sup>2</sup> conferma lo scenario descritto, evidenziando il divario di genere e territoriale. Nell'anno accademico 2020-2021, a fronte di poco meno di 1,8 milioni di studenti universitari iscritti, solo il 27,1% frequenta un corso di studi Stem. Le donne, pur rappresentando la maggioranza degli studenti, con una quota pari al 56,3%, sono ancora minoritarie nei corsi Stem, essendo solo il 37,1% degli oltre 480.000 iscritti”.

I problemi da risolvere sono tanti e annosi, ri-

guardano infrastrutture materiali e immateriali che ci rendano “resilienti” nei confronti di un futuro che si stenta a individuare. Tra queste l'infrastruttura più necessaria è quella della conoscenza-cultura e formazione, istruzione e ricerca sono gli strumenti della conoscenza e della cultura. A quanto si realizzerà col PNRR si affianca un forte partenariato con la Francia nel perimetro della Missione 4. Nel Trattato di Alleanza l'articolo 8 è dedicato a “Istruzione e formazione, ricerca e innovazione” per avvicinare i sistemi dell'istruzione, sviluppare ulteriormente gli scambi tra i propri studenti e personale universitario e accademico, approfondire e strutturare la cooperazione in materia di ricerca e innovazione. Prevede un ampio spettro di azioni comuni che vanno dai partenariati tra gli Istituti tecnici superiori (ITS) in Italia e i Campus dei mestieri e delle qualifiche (CMQ) francesi, ai partenariati strategici tra le istituzioni accademiche incaricate della formazione degli insegnanti in Italia e gli *instituts nationaux supérieurs du professorat de l'éducation* (INSPE) francesi per la mobilità dei futuri docenti. Punta sullo sviluppo di una strategia di mobilità e d'inserimento degli studenti tra i due Paesi nelle rispettive università. Sono previste collaborazioni d'eccellenza in materia di sanità, scienze della vita, ricerca oceanografica, fisica e chimica, ricerca polare, ambiente, patrimonio, innovazione dirompente e tecnologie digitali.

La componente 2 della Missione 4 “Dalla ricerca all'impresa”, si muove nella linea dello sviluppo economico che caratterizza del resto tutto il PNRR.

Gli investimenti sono pari a circa 9 miliardi di euro disponibili dal 2021 al 2026, 1,2 miliardi a fondo perduto, 7.890 miliardi di prestiti, che il nostro Paese dovrà restituire. Inoltre 480 milioni provenienti da altre fonti europee sono destinate a un investimento – denominato “Dottorati di ri-

2. STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics, fa riferimento ai quattro rispettivi ambienti, accademici e lavorativi:

ambito vasto che ospita tutte quelle materie e aree di ricerca che si occupano di studiare le scienze (della vita, naturali, e le altre), In

questo ambito si affrontano nuovi problemi per trovare nuove soluzioni nell'area tecnologica. STEM racchiude in sé tutte quelle re-

altà che siamo stati abituati ad associare al progresso scientifico – tecnologico e all'innovazione, sotto molteplici punti di vista.

cerca e ricercatori verdi e innovazione” – sempre nell’ambito della componente 2 della Missione 4, in corrispondenza del quale, tuttavia, non sono previste risorse del PNRR. Sono attesi interventi normativi che in sinergia con gli investimenti ridisegneranno l’architettura del mondo della Ricerca e dell’Università. Si costruiranno reti di collaborazione stabili in cui la mobilità tra settori caratterizzerà una nuova opportunità professionale per i ricercatori. Il Parlamento durante la discussione della legge di bilancio ha già affrontato la riforma del CNR, il più grande Ente di ricerca italiano, cui verrebbe impresso un forte ripensamento. Assieme agli altri EPR il CNR è interessato alla valorizzazione del personale oltre che dal Piano di riorganizzazione e rilancio.

### Gli investimenti previsti

Sono previsti quattro grandi investimenti.

Il **primo** - *Investimento 1.3 Partenariati allargati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento di progetti di ricerca di base punta*

alla costituzione di reti organizzate per promuovere e rafforzare la ricerca, di base o applicata, con Partenariati Estesi (PE) che mirano a finanziare almeno 10 grandi programmi di ricerca fondamentale e/o applicata trasversale, caratterizzati da un approccio interdisciplinare, olistico e *problem solving*, realizzati da reti diffuse di università, EPR, ed altri soggetti pubblici e privati. Le tematiche da sviluppare intersecano tutte le aree presenti nelle altre Missioni del PNRR.

Il **secondo** - *Investimento 1.4 Potenziamento strutture di ricerca e creazione di “Campioni Nazionali (CN) di R&S” su alcune Key Enabling Technologies* riguarda la creazione di infrastrutture per la R&S. Le strutture di ricerca sono gli impianti, le risorse e i servizi utilizzati dalla comunità scientifica per compiere ricerche nei rispettivi settori. Le infrastrutture possono essere ubicate in un unico sito o distribuite. Hanno caratteristiche tecniche, di dimensione e di versatilità, non realizzabili o sostenibili o utilizzabili da una singola istituzione. Si tratta di infrastrutture

che sono quindi create per essere fruite da un’utenza ampia, nazionale, europea o globale attraverso un accesso aperto su base competitiva.

I CN sono dedicati alla ricerca di frontiera su:

- simulazioni, calcolo e analisi dei dati ad alte prestazioni;
- tecnologie dell’agricoltura (Agritech);
- sviluppo di terapia genica e farmaci con tecnologia a RNA;
- mobilità sostenibile;
- bio-diversità.

Il **terzo** - *Investimento 1.5 Creazione e rafforzamento di “ecosistemi dell’innovazione”, costruzione di leader territoriali di R&S*

## PNRR, I FONDI PER ISTRUZIONE E RICERCA



prevede la creazione di reti di università, *Enti Pubblici Territoriali* (EPR), altri soggetti pubblici e privati altamente qualificati e internazionalmente riconosciuti, organizzati in forma consorziale, per favorire l'interazione e per la creazione e la promozione dell'innovazione e della sostenibilità in un territorio di riferimento. Le loro attività sono legate all'istruzione superiore, alla ricerca applicata, all'innovazione su specifiche aree, definite in base alla specializzazione del territorio. Saranno creati fino a 12 ecosistemi di innovazione in ambito nazionale che possono corrispondere a dimensioni territoriali diverse in funzione del progetto presentato.

Il **quarto** - *Investimento 3.1 Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e di innovazione* tratta di infrastrutture di ricerca, cioè degli impianti, delle risorse e dei servizi utilizzati dalla comunità scientifica per compiere ricerche nei rispettivi settori. Hanno caratteristiche tecniche, di dimensione e di versatilità non realizzabili o sostenibili o utilizzabili da una singola istituzione. Create per essere fruite da un'utenza ampia, nazionale, europea o globale attraverso accesso aperto su base competitiva, comprendono a) laboratori o grandi strumenti o complessi di strumenti per la ricerca; b) risorse basate sulla conoscenza quali per es. collezioni, banche dati, archivi o informazioni scientifiche strutturate; c) infrastrutture basate sulle tecnologie abilitanti dell'informazione e della comunicazione, quali le reti di comunicazione, il materiale informatico hardware, il software, e ogni altro mezzo necessario e fruibile dagli utenti per condurre la ricerca. Tali infrastrutture possono essere ubicate in un unico sito o distribuite.

*Le Infrastrutture di Ricerca* (IR) sono realizzate secondo diversi modelli quali: a) laboratori con caratteristiche di unicità in siti dedicati, fisicamente accessibili all'utenza per realizzare esperimenti e sessioni di misura; b) infrastrutture distribuite che gestiscono in modo coordinato più laboratori collocati in diversi siti geografici, centralizzandone le procedure di accesso e il coordinamento; c) risorse accessibili in modalità remota tramite un singolo portale, per es. nel caso di

banche dati, i codici numerici per la simulazione e le relative risorse di calcolo, gli archivi di campioni fisici, i materiali digitali per indagini e studi in tutti i campi della ricerca.

*Le Infrastrutture per l'Innovazione* (II) Sono strutture, strumenti, impianti, risorse e servizi finalizzati ad aumentare la competitività nelle attività di ricerca e sviluppo dell'industria e per i servizi di pubblica utilità. Il loro obiettivo è sostenere le esigenze dell'innovazione basata sulla conoscenza.

*Le Infrastrutture tecnologiche di Innovazione* (ITI) Le infrastrutture, o gli interventi di potenziamento, potranno essere finanziati sfruttando soluzioni di partenariato pubblico-privato, per attrarre finanziamenti e competenze da parte di investitori istituzionali e soggetti privati. I privati saranno cofinanziatori e, sulla base delle competenze distintive, contribuiranno allo sviluppo e alla diffusione di nuovi servizi infrastrutturali per l'industria o i servizi, con il diretto vantaggio di partecipare alla realizzazione di linee pilota, di servizi avanzati per i dati aperti, di prototipi, campagne di test di soluzioni di proprio interesse strategico. Le infrastrutture prevederanno attività di formazione e di ricerca *in-house*, quali dottorati in collaborazione con soggetti privati o con la Pubblica Amministrazione, *executive education*, e apprendistato avanzato.

### **Dalla Ricerca all'Impresa**

La Missione "*Dalla Ricerca all'Impresa*" vuole sostenere gli investimenti in ricerca e sviluppo, promuovere l'innovazione e la diffusione delle tecnologie e rafforzare le competenze, per favorire un'economia basata sulla conoscenza.

Tre delle quattro linee d'intervento previste (1.3, 1.4 e 1.5) - *Partenariati allargati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento di progetti di ricerca di base; Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "Campioni Nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies; Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S"* - coprono complessivamente l'intera filiera del processo di ricerca e innova-



zione, dalla ricerca fondamentale al trasferimento tecnologico, con misure che si differenziano sia per il grado di eterogeneità dei network tra università, centri/enti di ricerca e altri soggetti sia per il grado di maturità tecnologica e, in alcuni casi, per il carattere territoriale. Le componenti delle diverse missioni fanno leva sulla capacità degli interventi di auto-sostenersi nel tempo, anche con capitali privati, così da ridurre l'onere di medio-lungo periodo dei progetti. Insieme al Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e di innovazione ridisegnano l'intero impianto della ricerca italiana incardinandolo nel territorio, nel partenariato esteso a tutti gli stakeholder della ricerca e dell'innovazione, puntando a costituire un'infrastruttura distribuita territorialmente e centrata su obiettivi specifici, legata allo sviluppo industriale, ottimizzata nell'uso delle risorse umane e materiali, con l'ambizione dell'autosostenibilità delle misure messe in campo.

### **E la ricerca di base, dov'è finita?**

Certamente è presente, ma sempre in associazione con il tema della ricerca applicata e in associazione al mondo imprenditoriale a partire dall'Investimento "Partenariati allargati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento di progetti di ricerca di base".

È presente nella linea di intervento "Rafforzamento della ricerca e diffusione di modelli innovativi per la ricerca di base e applicata" che, in sinergia tra università e imprese, potenzia le attività di ricerca di base e industriale. Investe sui giovani ricercatori e favorisce la creazione di partnership pubblico/private di rilievo nazionale o con una vocazione territoriale.

L'investimento Fondo per il Programma Nazionale Ricerca (PNR) e progetti di Ricerca di Significativo Interesse Nazionale (PRIN) sostiene la ricerca scientifica nelle aree: a) salute, cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, una società dell'inclusione; b) sicurezza per i sistemi sociali; digitale, industria, aerospaziale; c) clima, energia, mobilità sostenibile; d) prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura,

ambiente.

Saranno anche finanziati Progetti di Ricerca di rilevante Interesse Nazionale (PRIN), che richiedono la collaborazione di unità di ricerca appartenenti ad università ed enti di ricerca per attività di ricerca *curiosity driven*. È uno stimolo per la ricerca di frontiera e per una più forte interazione tra università e istituti di ricerca. L'investimento finanzia 5.350 progetti entro il 2026.

Infine l'investimento per il *Finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori* offre loro nuove opportunità, per restare all'interno del sistema economico italiano. Prevede un massimo di 2100 giovani ricercatori, inseriti in una prima esperienza di responsabilità di ricerca. Parte del contributo sarà vincolata all'assunzione di almeno un ricercatore e parte del contributo a mobilità per attività di ricerca o didattica in altre località in Italia o all'estero.

### **Considerazioni e proposte**

Il tempo stringe, l'imperativo "fare presto" ha contagiato il mondo, che ha imboccato una svolta vertiginosa. Rifare tutto, farlo meglio, con il faro economico come luce guida. Può bastare?

Certamente un cambiamento radicale si impone in un Paese che avendo abbandonato il rigore nei suoi comportamenti e nei suoi pensieri non ha la forza di sterezare, anche se intravede il burrone. Ma il cambiamento, invocato per salvare l'economia, è necessario anche per costruire una nuova convivenza, una nuova cittadinanza, nuove scelte etiche se è vero, come sotteraneamente tutti percepiamo, che un nuovo mondo è alle porte. E non è fatto solo di PIL.

Il PNRR è sulla carta e sarà nella sua concreta realizzazione che potrà assumere la fisionomia e l'immagine del Paese in cui vorremmo vivere. Sarà la somma di un immenso sforzo collettivo. Il rigore e l'onestà, la passione e la fiducia che ci metteremo dentro in qualche modo lo modellerà. Dovremo spendere in maniera efficiente e onesta, come Draghi ha ricordato, sapendo che gran parte dei finanziamenti dovranno essere restituiti, presumibilmente dai nostri figli e nipoti. Nei prossimi anni il PNRR fornirà in media

una frazione del bilancio dello Stato pari a circa 4,3% dell'intera spesa, a fronte di circa 890 miliardi annui, al netto degli interessi sul debito. Una cifra importante perché dovrebbe cambiare positivamente la rotta del Paese. Tuttavia l'Italia dovrà anche saper creare una sinergia tra una migliore spesa dei fondi del bilancio ordinario e dei fondi del PNRR. È necessario muovere da una chiara diagnosi delle ragioni della cattiva spesa fondi strutturali dei decenni precedenti. Bisogna individuare i fattori di contesto che gravano sulla realizzazione dei progetti e accettare la sfida di un contrasto forte contro la cultura dello spreco.

Il gigantesco deficit italiano è anche generato da cattiva spesa. Non dobbiamo correre il rischio di aumentarlo.

Un'ultima osservazione: si profila già un problema di risorse umane adeguate, che scarseggiano in vari ambiti professionali. Perché non attingere anche tra i pensionati, da compensare con sgravi fiscali, o da reclutare con forme di volontariato? Si promuoverebbe così uno scambio intergenerazionale per trasferire competenze, visto che il turnover professionale è stato totalmente governato nella maggior parte delle strutture pubbliche. ●

***Comunicare ambiente e salute. Aree inquinate e cambiamenti climatici in tempi di pandemia***

a cura di Liliana Cori, Simona Re,  
Fabrizio Bianchi e Luca Carra

Collana PiGreco. *Clima, Ambiente, Salute*  
Edizioni ETS, 2021



Il libro nasce dalle ricerche fatte da CISAS nelle tre aree a rischio e include sia la pandemia sia i cambiamenti climatici, che hanno fatto irruzione in questi anni e assunto un ruolo nella percezione pubblica del rischio, mentre non possono essere ignorati nella divulgazione su ambiente e salute, nell'analisi delle competenze scientifiche e nell'affermazione dei diritti pubblici alla conoscenza e alla partecipazione.

Nel testo 25 autori hanno portato il loro contributo. Il libro si articola in tre parti principali: *Governance e comunicazione del rischio* (Prima Parte), *Comunicazione e percezione del rischio* (Seconda Parte) e *Cittadini attivi* (Terza Parte). Da un punto di vista tecnico e scientifico si affrontano i nodi cruciali, le complessità e le recenti evoluzioni della teoria della

comunicazione del rischio. Si condividono stimoli e idee per lo sviluppo di nuovi approcci in risposta alle più recenti sfide globali, presentando esperienze, strategie, metodi e strumenti di analisi della percezione del rischio e di comunicazione per i tecnici ed esperti del settore ambientale e della salute. I rischi trattati nei capitoli spaziano dal problema delle contaminazioni e delle malattie connesse ai Siti di Interesse Nazionale per le bonifiche, dai rischi del Covid-19 alla crisi climatica ed ecologica. Un rischio che riguarda tutti è un rischio che tutti possono e dovrebbero comunicare e gestire insieme per garantire la tutela della salute delle comunità e degli ecosistemi: la comunicazione del rischio dovrebbe essere fatta di dialogo, ascolto e di un grande lavoro di squadra. Alle lettrici e ai lettori si offrono spunti e riflessioni sui metodi e sugli strumenti di analisi, di azione e di sensibilizzazione necessari per affrontare le criticità connesse alla comunicazione nel campo di salute e ambiente.

Preziosa la postfazione di Elena Gagliasso, che analizza la ricchezza delle tematiche trattate alla luce del cambiamento epistemico in corso nell'Antropocene, segnato dalla presenza di nuovi attori nel campo della scienza, da "testa-coda cognitivi ed emozionali" nella società, da nuovi apprendimenti frutto di drammatiche divaricazioni e ricomposizioni, dove la scienza stessa deve riposizionarsi. Le aree ad alto rischio ambientale vengono definite in questo quadro "luoghi densi" dove le contraddizioni emergono e la cittadinanza scientifica trova il modo di manifestare le sue potenzialità, dove "proprio la comunicazione del rischio, quale momento di interazione tra scienza e società, si fa carico delle contraddizioni e delle divaricazioni che attraversano questa fase storica".

# ritratto di famiglia

## Tremoctopodidae

Giambattista Bello



Figura 1. Femmina di *Tremoctopus gracilis* fotografata nelle acque di Ponza (foto: Marcello Conticelli)

In questa rubrica, presentiamo un gruppo familiare zoologico per volta, quale esemplificazione della varietà animale. La famiglia è un'unità tassonomica contenente un insieme di specie aventi in comune determinate caratteristiche, frutto dell'evoluzione, che testimoniano l'origine da un unico progenitore. Questo "ritratto" tratta di Tremoctopodidae, famiglia monogenerica con quattro specie.

### I polpi che vivono sospesi

I polpi o, meglio, gli ottopodi sono molluschi cefalopodi che vivono sul fondo del mare; non tutti però. Infatti, i membri della famiglia Amphitretidae e della superfamiglia Argonautoidea, contenenti una decina di specie a testa, conducono vita nectonica, vivono cioè nella colonna d'acqua. Va subito sottolineato che gli ottopodi di mare aperto di questi due taxa si sono evoluti a partire da progenitori comunque bentonici, seguendo percorsi evolutivi distinti per l'affrancamento dalla vita a contatto col fondo del mare.

Secondo un'ipotesi piuttosto solida di qualche anno fa<sup>1</sup>, gli Amphitretidi avrebbero origine neotenica: forme paralarvali<sup>2</sup> planctoniche di un qualche progenitore bentonico che, pur conservando diversi caratteri giovanili tra cui la vita a mezz'acqua, arrivarono a svilupparsi sessualmente e a percorrere così l'intero il ciclo biologico in quell'habitat.

Lo stesso non può dirsi degli Argonautoidei, che presentano morfologia tipicamente adulta e hanno evoluto una differente strategia per condurre l'intera esistenza nella colonna d'acqua. Innanzitutto, al fine di conseguire il galleggiamento neutro o quasi, si riscontrano espedienti evolutivi diversi

1. Strugnell JM, Norman MD, Drummond AJ, Cooper A, *The octopuses that never came back to earth: neotenous origins for pelagic octopuses*, Current Biology, 18: R300–R301, 2004.

2. I cefalopodi nei primi stadi giovanili planctonici sono definiti paralarve piuttosto che larve.

nelle quattro famiglie del gruppo, Argonautidae, Alloposidae, Ocythoidae e Tremoctopodidae. Altrettanto, la necessità di “covare” le uova – le femmine di tutti gli ottopodi incirradi<sup>3</sup> assicurano le uova a un substrato solido e le custodiscono fino alla loro schiusa – è stata soddisfatta in modi diversi dalle quattro famiglie.

Un forte, duplice carattere che accomuna tutti gli Argonautoidi è rappresentato dal maschio nano, dotato di un ectocotile (un braccio modificato per l'accoppiamento) sproporzionato rispetto alle altre sette braccia, che si sviluppa e rimane nascosto e protetto all'interno di una sacca sottoculare fino al momento dell'accoppiamento.

### La famiglia e il genere: le peculiarità

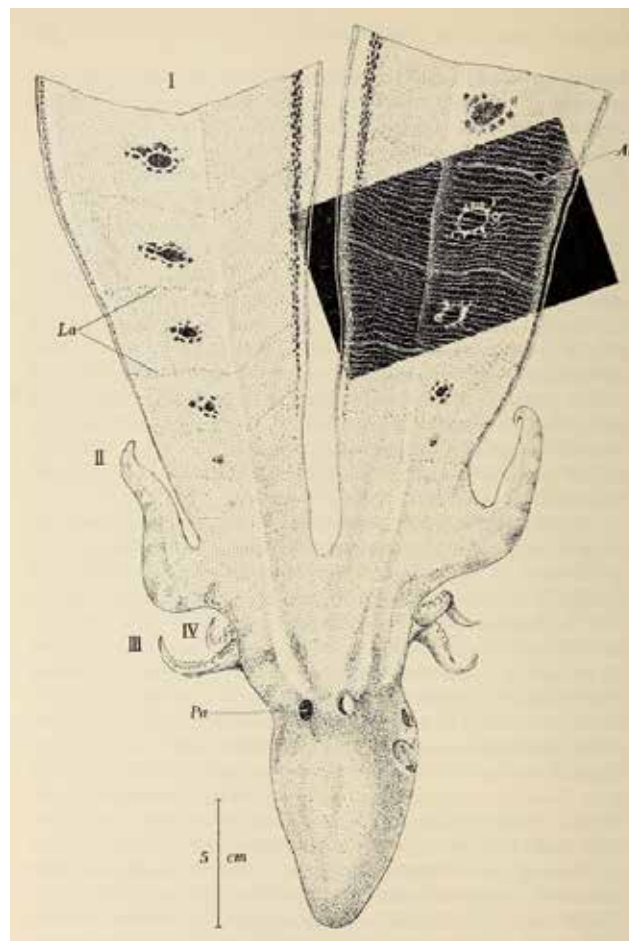
Come si intuisce facilmente dal titolo, estrarrò dalla superfamiglia Argonautoidea la famiglia Tremoctopodidae, per parlarne con qualche dettaglio in più. Diciamo subito che è monogenerica, giacché contiene il solo genere *Tremoctopus*, il quale a sua volta contiene le quattro specie *gelatus*, *gracilis*, *robsoni* e *violaceus*.

Partiamo dal nome scientifico. La prima peculiarità di questo genere è rappresentata da due coppie di pori acquiferi sulle due facce della testa, in prossimità dell'area di inserzione delle braccia (Fig. 2). La presenza di questi pori, che di certo non costituisce il connotato più vistoso, evidentemente colpì il medico e naturalista del regno borbonico Stefano Delle Chiaje (1794-1860), il quale nel descrivere il nuovo genere nel 1830<sup>4</sup> lo denominò *Tremoctopus*, letteralmente “polpo coi buchi”<sup>5</sup>. Anche gli altri Argonautoidi hanno pori acquiferi, però solo sulla parte ventrale del capo; per inciso, quello dei pori è un ulteriore carattere unico dei membri di questa superfamiglia che ne attesta ulteriormente l'origine comune. Riguardo alle cavità acquifere che si aprono all'esterno con quei pori, non ne è stata ancora scoperta la funzione.

3. Gli Ottopodi si suddividono in Incirradi, i polpi più tipici e numerosi, e Cirrati, viventi a grande profondità e dotati di natatoie sviluppate, noti anche

col nome popolare inglese di *dumbo octopus*; le femmine di questi ultimi non custodiscono le uova.

Passando alle caratteristiche peculiari di *Tremoctopus*, la più vistosa, quella che colpisce l'osservatore e lo lascia a bocca aperta per il suo splendore, è l'ampia membrana interbrachiale che fiancheggia le due braccia dorsali e che il cefalopode può estendere per la quasi intera lunghezza di tali brac-



**Figura 2. Femmina di *Tremoctopus violaceus*. Le linee predeterminate di autotomia del complesso braccio-membrana sono indicate dalle lettere *La* e *Au*, sulla membrana sono anche evidenti gli ocelli; si noti che entrambe le braccia dorsali sono mutile; anche i pori acquiferi dorsali sono indicati (*Pa*) (da Portmann A, *Les bras dorsaux de Tremoctopus violaceus Delle Chiaje*, *Revue Suisse de Zoologie*, 59:288-293, 1952).**

4. Delle Chiaje S, *Memorie sulla storia e notomia degli animali senza vertebre del regno di Napoli*, Napoli, Società Tipografica, 4:tavv. 70-71, 1830.

5. Bello G, *Il polpo coi buchi*, *Naturalmente*, 22(1):46-48, 2009.

cia o raggomitolare a piacimento (Fig. 1). Tale particolarità è valsa a questi molluschi il nome ufficiale italiano di “polpi palmati”. La membrana, per sopraggiunta, presenta vistosi disegni dovuti a gruppi di cromatofori, che si espandono e contraggono a volontà. Essa svolge diverse funzioni. Innanzitutto, la membrana interbrachiale di *Tremoctopus* costituisce un meccanismo di difesa contro i potenziali predatori, in quanto ciascuno braccio di cui fa parte è capace di autotomia e può rilasciare un frammento terminale con tanto di membrana al seguito coi cromatofori espansi, che distrae il nemico mentre il polpo si dilegua (meccanismo di autodifesa utilizzato da moltissimi e disparati membri del regno animale). Riporto quanto scriveva, in merito, il grande teutologo russo Kir Nesis (1934-2003): “L’autotomia ha luogo lungo linee predeterminate perpendicolari all’asse del braccio [Fig. 2]. Il pezzo che si stacca ha una ventosa e da una a tre macchie di colore. Essendo privo di controllo nervoso, si allarga istantaneamente fino alla dimensione di un fazzoletto e le macchie vistose della membrana trasparente ostentate innanzi agli occhi del predatore distraggono e forse spaventano il nemico, così da permettere alla femmina di fuggire via”<sup>6</sup>. Lo stesso argomento è stato approfondito dalla professoressa Lidia Orsi Relini in un bel lavoro arricchito da splendide immagini<sup>7</sup>. Ovviamente, questo meccanismo di difesa, si somma al consueto armamentario difensivo dei polpi, primo fra tutti la pigmentazione, giacché la colorazione del polpo palmato, più scura sul dorso e più chiara sul ventre, corrisponde ai canoni mimetici degli organismi pelagici.

Scrivevo, sopra, di “funzioni” della membrana interbrachiale, al plurale. Infatti l’espansione di questa sottile lamina contribuisce al galleggiamento del polpo grazie all’incremento della resistenza idrodinamica, proporzionale al rapporto superficie/volume dell’animale. Il galleggiamento neutro, però, è principalmente dovuto a un orga-

no idrostatico, una vescica ripiena di gas situata dorsalmente all’interno del sacco viscerale; particolarità questa non esclusiva di *Tremoctopus*, in quanto condivisa anche dai generi *Ocythoe* e *Haliphron*<sup>8</sup>.

C’è, inoltre, una terza funzione della membrana interbrachiale, che asseconda un’altra peculiarità presente in tutte le specie di *Tremoctopus*: l’incubazione delle uova svincolata dal fondo del mare, dove la quasi totalità degli Ottopodi depone le uova. L’ovvia soluzione evolutiva di questo problema è stata raggiunta, in tutti gli Argonautoidi, col trasporto seco delle masse ovigere da parte della femmina. In particolare, nella femmina sessualmente matura del polpo palmato si è sviluppato un organo cementante di natura carbonatica, che consta di bacchette disposte sulla faccia orale (quella che porta le ventose) della zona prossimale delle due braccia dorsali (quelle munite dell’ampia membrana), a cui le uova, dopo essere state fecondate all’interno del corpo, sono attaccate e aderiscono per tutto il periodo dello sviluppo embrionale, avvolte e protette dall’ampia membrana interbrachiale<sup>9</sup>.

### Il maschio nano

Più di un lettore si sarà accorto che, nel capitolo precedente, si è parlato della femmina di *Tremoctopus*, almeno nel frammento di Nesis “... permettere alla femmina di fuggire via”. In effetti, del maschio si sa molto meno. Sappiamo che è nano, vale a dire molto più piccolo della femmina, anche una ventina di volte in termini di lunghezza totale del corpo: quella dei maschi delle diverse specie va da 5 a 7 cm, mentre le femmine possono superare i 100 cm. Sappiamo anche che, in questo genere, è il terzo braccio del lato destro a essere trasformato in ectocotile, racchiusa in una sacca situata in corrispondenza dell’occhio dello stesso lato (Fig. 3). Quando il maschio è sessualmente maturo e incontra una

6. Nesis KN, *Cephalopods of the world*, Neptune City (NJ, USA), T.F.H. Publications, 1987.

7. Orsi Relini L, *Notes about*

*colour displays observed in female specimens of Tremoctopus (Cephalopoda: Octopoda) and their taxonomic value*, Bollettino Malacologico, 45(suppl):13-16, 2009.

8. Bello G, *Exaptations in Argonautoida (Cephalopoda: Coleoidea: Octopoda)*. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, 266:85-92, 2012.

9. Young RE, *Tremoctopus: Brooding, Eggs, Embryos and Hatchlings*, The Tree of Life Web Project: [http://tolweb.org/accessory/Tremoctopus\\_Eggs\\_etc.?acc\\_id=2416](http://tolweb.org/accessory/Tremoctopus_Eggs_etc.?acc_id=2416), 1996.

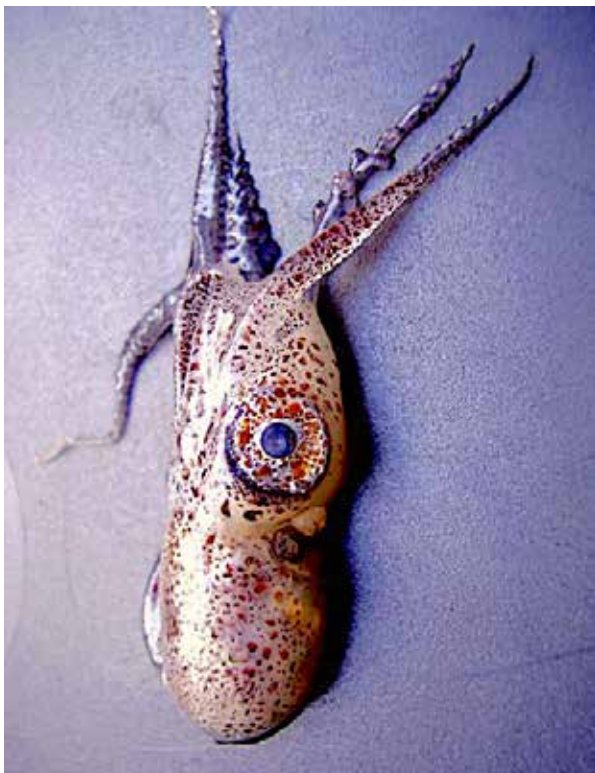
femmina, la sacca si apre, l'ectocotile si svolge, si carica di spermatofores, viene inserito nella cavità palleale della femmina per fecondarla e si stacca dal corpo del maschio per autotomia<sup>10</sup>. È altamente palusibile, pertanto, che il maschio si accoppi una volta soltanto e feconda una femmina soltanto, mentre questa può accoppiarsi con diversi maschi. È opportuno rimarcare, qui, che solo negli Argonautoidi il braccio modificato per la copula è racchiuso in una sacca e svolge quest'unica funzione, una sola volta (infatti non è pensabile che, nonostante le grandi capacità rigenerative delle braccia dei cefalopodi, l'ectocotile si riformi), mentre nei polpi bentonici il braccio copulatore serve anche, come le altre braccia, per la manipolazione di prede e oggetti vari nonché per l'adesione al substrato; inoltre, può copulare ripetutamente con femmine diverse.

### Il polpo urticante

Nei racconti dei nostri vecchi pescatori si incontrano anche polpi dalle insolite tinte iridescenti sul violaceo, pescati di rado, che "bruciavano" le mani; insomma, polpi urticanti.

Per un ottopode, la vita in mare aperto può essere più irta di pericoli rispetto a quella sul fondo del mare, dove è facile trovare ricovero in anfratti o sotto la sabbia. Ecco perché i polpi palmati, almeno nella fase giovanile, quando sono più vulnerabili alla predazione, possono trattenere con le ventose frammenti di tentacoli di meduse, che evidentemente utilizzano come deterrente contro alcuni potenziali predatori. E così si spiega l'effetto bruciatura causato da certi polpi degli aneddoti marinari.

Il primo a descrivere in un lavoro scientifico la capacità di *Tremoctopus violaceus* di utilizzare le



**Figura 3. Maschio di *Tremoctopus violaceus*. Nella foto di destra, alcune braccia sono state ribaltate per mettere in evidenza la sacca che contiene l'ectocotile (foto: Alberto Villari).**

<sup>10</sup>. Bello G, *I maschi dei polpi pelagici*, Naturalmente, 23(1):34-36, 2010.

cellule urticanti di meduse come arma di difesa fu Adolf Naef (1883-1949), il fondatore della teutologia moderna, il quale svolse gran parte della sua mirabile attività presso la gloriosa Stazione Zoologica di Napoli<sup>11</sup>. Tra i celenterati sfruttati in questo modo dal polpo palmato, si annovera anche la famigerata caravella portoghese, *Physalia physalis*, fortunatamente per noi mediterranei, al di fuori di questo bacino.

### Evoluzione e filogenesi

Le due coppie di pori acquiferi, la membrana interbrachiale molto estesa sulle braccia dorsali, la capacità di autotomizzare frammenti di tali braccia con relativa membrana utilizzati come deterrenti anti-predatori, gli organi di adesione nella parte prossimale delle braccia dorsali delle femmine per trasportare e incubare le uova presso di sé, i meccanismi di galleggiamento neutro, l'ovvia somiglianza morfologica; tutto ciò è un forte segno della strettissima parentela filogenetica tra le quattro specie di *Tremoctopus* e ci indica che si tratta di specie cugine derivate da un unico progenitore comune, che aveva evoluto le caratteristiche proprie della famiglia Tremoctopodidae indipendentemente dagli altri Argonautoidi. Ancora una volta, purtroppo, non abbiamo alcuna traccia fossile degli ascendenti di questo taxon a causa dell'estrema difficoltà a fossilizzare dei cefalopodi privi di conchiglia.

A loro volta, alcune peculiarità di Tremoctopodidae condivise con le altre tre famiglie della superfamiglia Argonautoidea – Argonautidae, Alloposidae e Ocythoidae – mostrano in tutta evidenza che queste quattro famiglie sono filogeneticamente affini: il modo di vita pelagico con morfologia adulta (diversamente da Amphitretidae), i pori acquiferi (presenti solo nella faccia ventrale della testa nelle altre famiglie), l'organo carbonatico per il trasporto delle uova (che in *Argonauta* si evolverà in un nicchio-ooteca molto

sviluppato), il notevole dimorfismo sessuale con maschio nano, il peculiarissimo ectocotile... Ed infatti, recenti analisi di genetica molecolare hanno confermato che tutte le specie di Argonautoidi si sono inequivocabilmente evolute a partire da un progenitore comune per tutti i Cefalopodi Incirradi; sono, tuttavia, distinti dai polpi bentonici, il cui insieme costituisce la superfamiglia Octopodoidea (Fig. 4)<sup>12</sup>.

### Evoluzione ed esattamenti

Gould e Vrba (1982)<sup>13</sup> coniarono il termine *exaptation* [esattamento] per indicare l'assunzione di una nuova funzione da parte di un carattere evolutosi per svolgerne un'altra (un esempio classico è la trasformazione degli arti anteriori dei tetrapodi in ali per il volo).

L'esame dei Tremoctopodidi sotto questo aspetto<sup>14</sup> ha mostrato che i seguenti tratti evolutivi sono rubricabili tra gli esattamenti: la formazione dell'organo idrostatico a partire da un appendice ceca del tratto digestivo; l'espansione della membrana interbrachiale, organo deputato negli ottopodi bentonici ad avvolgere le prede, "esattata" a ben tre altre funzioni, cioè azione fuorviante dei predatori, protezione delle uova in incubazione e ausilio nel galleggiamento; le due braccia dorsali esattate sia a deterrente anti-predatorio nella parte distale (insieme alla membrana annessa), sia a organo per il trasporto delle uova da incubare nella parte prossimale, grazie alla secrezione di un organo di adesione ad hoc; il braccio ectocotilizzato, decisamente sovradimensionato rispetto all'ectocotile degli altri polpi, si è esattato per la sola funzione copulatrice, perdendo del tutto la funzione manipolatrice. Come si vede da queste poche note, l'evoluzione che ha condotto i Tremoctopodidi (come pure tutti gli altri Argonautoidi) alla vita olopelagica si è abbondantemente basata sull'esattamento di organi preesistenti, "il bricolage del rabberciatore"<sup>15</sup>.

11. Naef A, *Die Cephalopoden*, Fauna und Flora des Golfes von Neapel, 35(1,1), 1923.

12. Strugnell JM, Norman MD, Vecchione M, Guzik M, Allcock AL, *The ink sac clouds octopod evolutionary history*, *Hydrobiologia*, 725:215-235, 2014.

13. Gould SJ, Vrba E, *Exaptations – a missing term in the science of form*, *Paleobiology*, 8:4-15, 1982.

14. Bello, 2012, cit.

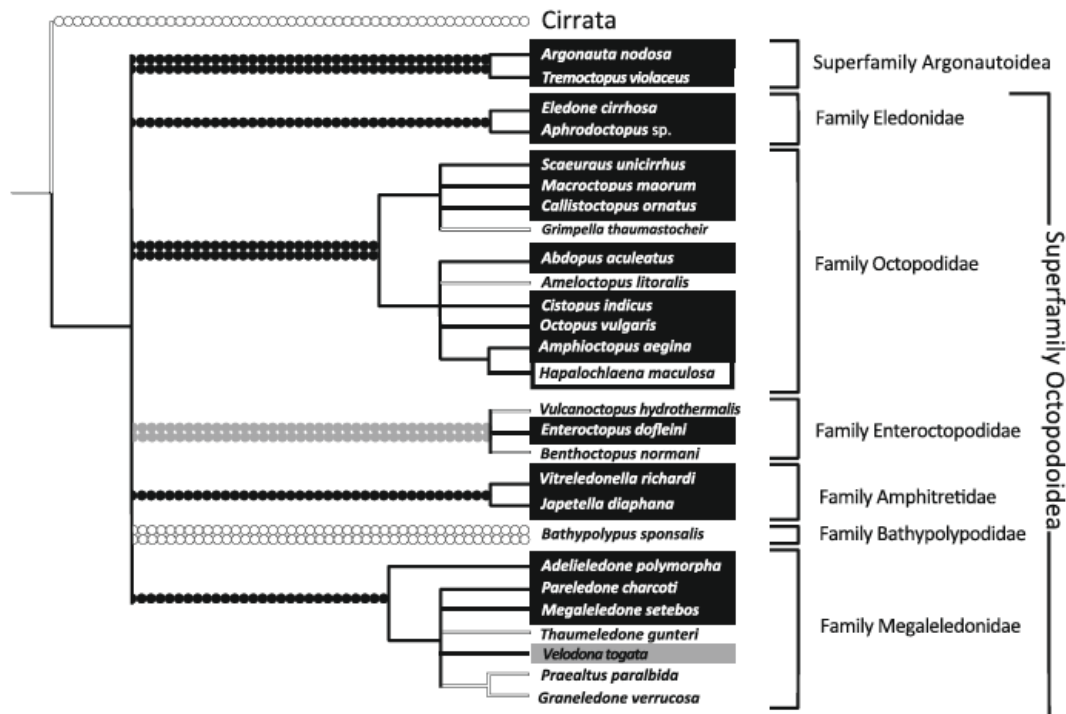


Fig. 4. Cladogramma degli Ottopodi; la doppia fila di pallini neri indica il numero di file di ventose sulle braccia e la presenza di tasca del nero (da Strugnell et al., 2014).

### Nel Mediterraneo

Sapevamo tutti che questo mare piuttosto chiuso conteneva la sola specie *Tremoctopus violaceus*, descritta da Delle Chiaje nel 1830 su esemplari catturati nel Tirreno<sup>15</sup>. Cosicché, tutti gli esemplari di *Tremoctopus* raccolti nelle acque del bacino mediterraneo venivano ascritti, senza titubanza né riflessione, alla specie *violaceus*. Fintantoché, nel 2002, un fotografo subacqueo non scattò alcune foto a un magnifico esemplare di *Tremoctopus* – si trattava di una femmina ovigera – nelle acque di Ponza (Mar Tirreno) (Fig. 1). Con gli approfondimenti successivi, l'esemplare fu identificato come *Tremoctopus gracilis*, una specie esotica, proveniente come tante altre dall'Indo-Pacifico; non solo, giacché si scoprì qualcosa di ancora più grosso: lo stuolo di polpi palmati, osservato nel lontano 1936 in Alto Adriatico e ascritto “senza

titubanza né riflessione” a *Tremoctopus violaceus*, era costituito in realtà da individui dell'esotico *Tremoctopus gracilis*, uno dei primissimi cefalopodi non indigeni rinvenuto nelle nostre acque. Di recente, questa “specie non indigena”<sup>17</sup> è stata ritrovata anche in altre distretti del Mediterraneo e si sospetta che potrebbe essersi insediata in questo bacino. La sequenza dei suoi ritrovamenti mediterranei è riferita da Bello et al.<sup>18</sup>.

Per una descrizione con immagini – e di belle immagini si tratta! – della vicenda *violaceus/gracilis*, consiglio l'articolo di Orsi Relini già citato sopra e da cui la foto di Fig. 1 è tratta<sup>19</sup>, scaricabile gratuitamente dal sito della Società Italiana di Malacologia; un filmato altrettanto bello è visionabile su [www.youtube.com/watch?v=MJS2oYvi9CI](http://www.youtube.com/watch?v=MJS2oYvi9CI) ●

**Ringraziamenti:** ringrazio l'amico Alberto Villari per le foto del maschio di *Tremocotpus*.

15. Bello, 2012, cit.

16. Delle Chiaje, cit.

17. Traduzione di *non-indigenous species* (NIS), termine preferito quale sinonimo di specie aliena, esotica, non-nativa, alloctona.

18. Bello G, Andaloro F, Battaglia P, *Non-indigenous cephalopods in the Mediterranean Sea: a review*. Acta Adriatica, 61:113-134, 2020.

19. Orsi Relini, cit.



### La bufala del giornalista chimerico

“Metà polpo, metà seppia”, così titolava un articolo del quotidiano *La Repubblica* edizione Bari dell’11 gennaio scorso<sup>1</sup>. Mi sono chiesto: “la metà destra polpo e la metà sinistra seppia, o viceversa?”. Ma poi, riflettendoci su, mi sono detto: “forse la metà anteriore polpo e quella posteriore seppia, o viceversa; sì è più logico”.

Ora vi svelo il mistero del titolo. Sì, lo confesso, ho bleffato. Il titolo intero è “Metà seppia, metà polpo: in Puglia avvistato il rarissimo Tremoctopus: ‘Noi biologi lo cercavamo da quarant’anni per poterlo studiare’”. Nel leggere “Tremoctopus”, fu evidente per me, biologo marino, – come lo è per voi lettori di *Naturalmente Scienza*, soprattutto se avete letto il *Ritratto di famiglia* di questo numero – che il titolo racchiudeva una bufala colossale, giacché questo cefalopode è un polpo (ordine Octobranchia, a otto braccia) e niente ha a che fare con le seppie (ordine Decabranchia, a dieci braccia), a parte la parentela piuttosto lontana nell’ambito dei Molluschi Cefalopodi.

E vi svelo anche un altro segreto, personale. Nel giorno dell’uscita di questo articolo e nei due o tre giorni successivi, ricevetti una ventina di allerte, riguardo all’articolo in questione, tra telefonate, e-mail e messaggi WA da amici e colleghi (questi ultimi tutti indignati) al corrente dei miei studi “polpeschi”. In effetti, quel titolo mi fece soprassalire per la sua inconsistenza scientifica. Mi toccò fare un grande sforzo per evitare qui a voi e a me stesso le consuete invettive contro l’ignoranza in materia di scienze di troppi giornalisti, gli stessi che magari ti possono recitare a memoria un intero canto della *Divina Commedia* o la prima pagina de *I promessi sposi*.

Altra indignazione provai nel leggere ulteriori amenità all’interno dell’articolo.

Prima amenità: la rarità. *Tremoctopus violaceus* non è così raro come riferito, ma piuttosto “raramente catturato”, in quanto, essendo un polpo olopelagico, vive nella colonna d’acqua lontano dalla costa, quindi non è facilmente accessibile alle reti dei pescatori. Quando un polpo olopelagico, come il polpo palmato o come l’argonauta, entra in un porto, come è capitato all’individuo filmato nel video che accompagna l’articolo, per lui può essere la fine perché non riesce a uscirne né a immergersi a grande profondità. Parlando di Puglia, dove l’esemplare dell’articolo fu catturato, io stesso ho potuto osservare nell’Adriatico un paio di esemplari (uno dei quali era stato divorato da un pescespada), mentre un amico-collega gallipolino ne ha osservati/catturati una decina. Per non parlare di altri distretti marini italiani, come i mari siciliani, dove diversi colleghi e amici ne hanno avvistati numerosi altri.

Seconda, terza e quarta amenità: “Il *Tremoctopus violaceus* è un cefalopode, a metà tra la seppia e il polpo e tra i 5 e 10 centimetri di dimensione”. A prescindere dal fatto che i nomi scientifici di animali e piante non devono essere, per convenzione, preceduti dall’articolo (“Il *Tremoctopus...*”) (2<sup>a</sup> amenità) e dall’altro fatto già menzionato “a metà tra la seppia e il polpo” (3<sup>a</sup> amenità), la femmina del polpo palmato può arrivare a superare il metro di lunghezza, ben oltre la dimensione “tra i 5 e 10 centimetri” (4<sup>a</sup> amenità). (Tra parentesi: ce ne vuole per infilare tre errori scientifici in un solo rigo.)

Quinta amenità: “Questa specie era stata già segnalata dagli anni ’80”. Qui l’articolaista riferisce le parole del Dott. Pierluigi Carbonara, biologo marino che conosco e stimo, il quale non può aver affermato ciò, in quanto il polpo palmato fu descritto, come sappiamo e come Carbonara sa, nel lontano 1830 da Stefano Delle Chiaje, e da allora segnalato ripetutamente nel Mediterraneo, come pure al di là delle Colonne d’Ercole.

Tra tante amenità, che però più che far ridere fanno indignare, l’articolo contiene un pensiero positivo: l’apporto dei cittadini comuni alla scienza, con la segnalazione di ritrovamenti insoliti ai ricercatori di professione; è ciò che oggi viene chiamato *citizen science*. È proprio questa la parte più efficace dell’articolo, ovvero il filmato che accompagna l’articolo ed è disponibile online, dove si sentono i commenti spontanei degli astanti. E, poiché l’articolaista non l’ha fatto, tocca a me spiegare quanto si vede nel filmato e soddisfare così la curiosità degli osservatori nel porto di Torre Canne (Fasano, BR) e altrove; per inciso, da quella stessa zona proveniva il primo polpo palmato da me osservato, una trentina di anni fa. Nel video si vede dapprima il polpo palmato con le braccia dorsali retratte, quindi la “cosa” curiosa cioè il frammento di braccio dorsale con tanto di membrana apertasi come un piccolo drappo (evidentemente l’animale si era sentito minacciato), infine il polpo con una parte della membrana interbrachiale espansa. Si vede molto bene anche la coppia di pori acquiferi. Complimenti all’autore del video!

P.S. Una spiegazione del titolo di questa bufala. Nella mitologia greca, la chimera era un mostro formato da parti di animali diversi, come potrebbe essere, se esistesse, un cefalopode metà polpo e metà seppia.

1. Rutigliano G, *Metà seppia, metà polpo: in Puglia avvistato il rarissimo ‘Tremoctopus’: ‘Noi biologi lo cercavamo da quarant’anni per poterlo studiare’*, la Repubblica / Bari, 11.1.2022 [https://bari.repubblica.it/cronaca/2022/01/11/news/meta\\_seppia\\_meta\\_polpo\\_in\\_pugli\\_avvistato\\_il\\_tremoctopus\\_-333415233/](https://bari.repubblica.it/cronaca/2022/01/11/news/meta_seppia_meta_polpo_in_pugli_avvistato_il_tremoctopus_-333415233/),

**Bruno Arpaia**  
***Qualcosa, là fuori***  
Ugo Guanda Editore, 2016



La trascrizione per il sito *Naturalmente*<sup>1</sup> di una delle cinque lezioni che Radio 3 scienza ha dedicato a Pietro Greco<sup>2</sup>, mi ha fatto conoscere Bruno Arpaia, uno scrittore appassionato di scienza, come lui stesso si definisce. La sua *lezione per Pietro*, dal titolo *Arte e scienza*, ci fa apprezzare una bella amicizia, profonda e feconda. La lezione prende le mosse dalla richiesta rivoltagli da Pietro Greco di tenere verso la fine degli anni novanta un corso al Master di Comunicazione della Scienza della SISSA a Trieste. Alle resistenze di Bruno, Pietro rispose: “Ma io voglio che tu insegni quello che sai, come si racconta una storia, perché comunicare la scienza vuol dire saperla trasformare in una storia ed è importante che i ragazzi sappiano anche di letteratura”.

“Quella sua determinazione, quella sua apertura, la necessità per lui chiarissima di mescolare scienza e letteratura – racconta Bruno Arpaia – mi sorpresero [...]. Grazie a quel suo invito e poi negli anni successivi grazie alla sua generosità al suo continuo desiderio di condividere, di mettere in relazione le persone che stimava e i loro diversi ambiti, ho potuto addentrarmi sempre più nel mondo della scienza, conoscere scienziati, ricercatori, comunicatori, tanto che da allora ho scritto anche due o tre romanzi con al centro la fisica o la crisi climatica”.

È stato proprio questo mescolare scienza e letteratura che mi ha incuriosito e spinto a leggere il romanzo sulla crisi climatica per il quale l'autore ha preso in prestito il titolo, *Qualcosa, là fuori*, da un saggio di Enrico Bellone<sup>3</sup>. La sua lettura è stata un'esperienza travolgente e sconvolgente perché è sì un romanzo, ma l'invenzione poggia su fatti che estremamente attuali. Viene quindi naturale percepire come incombenti tutte quelle conseguenze che nel romanzo sono proiettate in un futuro prossimo, dentro uno scenario che ci appare orribilmente realistico. Anche noi ci sentiamo a fianco del protagonista Livio Delmastro, un anziano professore di neuroscienze, nel suo terrificante viaggio verso la Scandinavia, paese dove è ancora possibile condurre una vita a misura d'uomo.

In una narrazione che si snoda su due piani assistiamo all'alternato scorrere della vita di Livio da giovane e da vecchio, percependo la sua giovinezza come il nostro futuro imminente e il preludio di quella sofferenza che ci porterà attraverso la sua storia a vedere e a vivere i devastanti effetti del riscaldamento climatico. “Ogni passo un tormento, in quella sabbia molle, ogni respiro un ansito per ingoiare l'aria che colava giù rovente e quasi solida. E più avanzavamo in quel paesaggio lunare, più il tempo sembrava ristagnare e non passare mai...”

Nonostante tutta la sofferenza che ci investe, si fa fatica a sospendere la lettura e si va avanti con le pagine che scorrono via veloci nella speranza che Livio e i suoi compagni di viaggio raggiungano la meta e la salvezza. Il viaggio è allucinante e non ci viene risparmiato nulla! E se l'immaginazione corre dentro i terribili paesaggi e le enormi difficoltà del viaggio è anche merito di una scrittura asciutta, precisa, *scientifica*.

*Dulcis in fundo*, si fa per dire, ci attende una postfazione, non a caso denominata *Avvertenza*, che inizia così: “Gli scenari di questo libro riprendono (e anzi, spesso ricalcano alla lettera) quelli delineati da Gwynne Dyer nel saggio *Le guerre del clima* (Marco Tropea Editore), ma li ho attentamente confrontati con i rapporti dell'Ipcc (Intergovernmental Panel on Climate Change) e dell'European Environment Agency, i quali, però, secondo numerosi scienziati del clima, peccano sistematicamente per difetto...”. Ce l'eravamo immaginato, ma adesso abbiamo la certezza di aver letto un romanzo particolare, una *speculative fiction*, come l'ha definita l'autore in un'intervista radiofonica rilasciata nel maggio 2016<sup>4</sup>. Arpaia non vuole essere considerato uno scrittore apocalittico e a questo proposito cita la recensione di Carlo Rovelli sul *Corriere della sera*<sup>5</sup>: “*Qualcosa, là fuori*, non è una profezia cupa è un grido di allarme [...] L'obiettivo del crudo realismo del racconto è contribuire a non farlo diventare reale”.

Di fronte alle tante incertezze della recente COP26 e con la consapevolezza che quel che è stato fatto è ancora poco, oggi abbiamo il dovere di fare la nostra parte affinché la politica faccia le scelte giuste (anche nei confronti degli attuali migranti che già oggi pagano le conseguenze della crisi climatica). *Qualcosa, là fuori* è dunque un romanzo che può insegnare più di un saggio o di un articolo scientifico perché come sosteneva Pietro Greco trasforma la scienza in una storia, e come tale coinvolge tutte le nostre facoltà cerebrali spingendoci all'azione. Un grande merito per uno scrittore.

Lucia Stelli

1. <https://www.raiplaysound.it/playlist/lezioniperpietro>

2. <https://www.naturalmentescienza.it/PietroGreco5LezioniRAI3/3%20Bruno%20Arpaia%20Arte%20e%20Scienza.pdf>3. Enrico Bellone, *Qualcosa, là fuori. Come il cervello crea la realtà*, Paperback, 2011

4. <https://www.raiplaysound.it/audio/2016/05/Fahrenheit--Il-libro-del-giorno-del-05052016-e9ad4e1f-ebba-4cb5-bc24-489123366082.html>

5. [https://www.corriere.it/cultura/16\\_aprile\\_28/libro-guanda-bruno-arpaia-qualcosa-la-fuori-rovelli-001062d6-0d58-11e6-9053-86a90bf524d0.html](https://www.corriere.it/cultura/16_aprile_28/libro-guanda-bruno-arpaia-qualcosa-la-fuori-rovelli-001062d6-0d58-11e6-9053-86a90bf524d0.html)

# focus: transizione ecologica

## Piano di Transizione Ecologica: cambiamento di scenario?

The Ecological Transition Plan (PTE), drawn up by the Italian Government in 2021, is an ambitious project to abandon energy sources that release carbon dioxide. However, there is no mention of strategies that contemplate the reduction of energy consumption, entrusting economic growth, the same one that has determined the serious environmental problems which the PTE proposes to remedy, the driving force for the change of energy sources to be used for the production of goods and services. In any case, whatever solution the continuous technological development will allow to adopt, the clash with new limits of the carrying capacity allowed by the planet to a population in continuous economic growth will be inevitable.

Keywords: *Ecological Transition Plan (PTE), Energy consumption, Economic growth*

Fabio Fantini

In tempi lontani, quando i docenti ripetevano pazientemente in aula i fondamenti della propria disciplina, giorno dopo giorno e anno dopo anno, era in voga un'espressione destinata a evidenziare la refrattarietà all'apprendimento degli studenti, che suonava "Ormai lo sanno anche i muri!". Pazienti e ricettivi come i muri di un'aula scolastica, anche noi umani abbiamo finalmente imparato che l'uso indiscriminato dei combustibili fossili, motore della ricchezza di buona parte delle popolazioni e della rovina delle rimanenti, ha conseguenze deleterie per tutti, ricchi e poveri. Non si tratta, come paventato fino a pochi anni fa, dell'esaurimento delle risorse, con il corollario di contese per l'accaparramento di riserve sempre più rare e preziose. A scuoterci dal sogno di vivere in un mondo capace di esaudire ogni nostra richiesta energetica ha provveduto l'accumulo di un apparentemente innocuo ma ineliminabile prodotto del consumo dei combustibili fossili. Se, in analogia con quella dei viventi, fosse possibile tracciare una storia evolutiva delle risorse energetiche, il richiamo all'estinzione di massa del Cretaceo sarebbe una tentazione irresistibile. Con il riscaldamento globale nei panni dell'asteroide di Chicxulub, una fonte di energia dominante e ubiquitaria è avviata all'estinzione e sta per essere abbandonata. Fonti alternative di energia, relegate finora in nicchie marginali, hanno la possibilità di emergere dall'ombra e di aspirare a un ruolo di primo piano. Beh, forse...



### Scelte lessicali

Fin dall'estate 2021 il Governo italiano ha presentato una proposta di Piano per la Transizione Ecologica destinato a indirizzare le scelte strategiche di politica economica e ambientale per i prossimi decenni. Articolato in cinque macro-obiettivi e in otto ambiti di intervento, il PTE si impegna nella progressiva sostituzione dei combustibili fossili con le energie rinnovabili, con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica (almeno per l'Italia) entro il 2050.

Molto bene, verrebbe da dire, ma perché la denominazione Piano per la Transizione Ecologica anziché quella, forse più modesta ma più appropriata, di Piano per la Transizione Energetica? Come noto, a pensare male si fa presto, probabilmente per un corollario del Secondo Principio della termodinamica. Non serve molta fatica per cadere nella tentazione di attribuire la scelta lessicale a una sagace tattica comunicativa, attenta a sfruttare la popolarità di termini alla moda.

Il termine "transizione ecologica" farebbe pensare a un cambiamento del ruolo ecologico, a un rimodellamento della nicchia ecologica della nostra specie. Modificare il modello alimentare della popolazione umana per abbassarne il livello trofico medio<sup>1</sup>, favorendo il consumo di cibi mediamente più vicini alla base della catena alimentare, alleggerirebbe, in effetti, il nostro impatto sul pianeta. Anche se si tratta di un obiettivo degno della massima attenzione, non è però questo il tipo di transizione che il PTE prefigura.

La storia delle civiltà umane si caratterizza per lo sfruttamento intenzionale, mediante strumenti, di fonti di energia diverse da quelle alimentari, che restano comunque necessarie per lavori eseguiti con la forza animale, umana compresa. Con una piccola forzatura, il ricorso a fonti energetiche

diverse da quelle alimentari potrebbe essere considerato un cambiamento di nicchia ecologica, analogo a un mutamento di abitudini alimentari. Il controllo della combustione, in genere della legna, e la capacità di eseguire lavoro utile sfruttando i movimenti dell'atmosfera e dell'idrosfera produssero nelle antiche società umane sviluppi paragonabili a quelli consentiti dal reperimento di nuove risorse alimentari. Il passaggio allo sfruttamento sistematico delle fonti fossili, iniziato pochi secoli fa, potrebbe essere considerato come una successiva transizione ecologica, alla quale intendiamo oggi, per ben noti motivi, farne seguire una ulteriore, appunto quella perseguita dal PTE.

### I costi della transizione

Concesso, dunque, il beneficio del dubbio agli estensori del PTE e in particolare al titolista, rivolgiamoci a un paio di questioni più serie. La prima riguarda i costi della transizione. La narrazione ufficiale parla di una transizione sostanzialmente indolore, guidata da una riconversione virtuosa e capillare, a sua volta trainata dalla crescita costante dell'economia. Chiunque abbia smesso di credere alle fiabe sa che non sarà così. Approfittare della riconversione per operare una modernizzazione razionalizzatrice dell'organizzazione sociale e produttiva è un obiettivo ambizioso, di cui è auspicabile anche il solo conseguimento parziale. Ma non pensiamo neanche per un attimo che sia possibile raggiungerlo senza aggravii del disagio sociale, senza opposizioni strenue, senza conflitti divisivi. Ogni cambiamento ha un costo, come anche ogni mantenimento dello *status quo*. In una società corporativa, come quella italiana attuale, diventa difficile valutare l'interesse del Paese sul medio e lungo periodo, quan-

1. "Livello trofico medio" è un'espressione non ortodossa; mettiamola così: noi umani, consumatori onnivori, siamo situati a un livello trofico superiore di una unità rispetto a quello del cibo che di volta in volta consumiamo; abbassare il livello trofico medio signifi-

ca privilegiare l'uso di alimenti provenienti dal primo livello trofico, quello dei produttori, a scapito di alimenti ricavati da organismi consumatori, appartenenti al secondo livello trofico o a quelli superiori. Il livello trofico umano è stato calcolato da Bonhommeau S, e. a., *Eating*

*up the world's food web and the human trophic level*, PNAS 110 (51):20617-20620, 2013 come media ponderata dei livelli trofici dei diversi componenti della dieta umana + 1. Il valore ottenuto è 2,21 e situa la nostra specie allo stesso livello trofico di animali come l'aringa o il

maiale, anche se con notevole variabilità tra nazioni, con valori che spaziano da 2,04 (Burundi) a 2,57 (Islanda), secondo i dati del 2009.42:265-271, 1908.

do a prevalere nell'indirizzo delle scelte politiche sono gli interessi di gruppi particolari, attenti solo a tutelare i propri privilegi. Proprio mentre scrivo queste righe, un esempio che più appropriato sarebbe difficile trovare è offerto dalle elezioni del Presidente della Repubblica, affidata a uno stuolo di parlamentari prioritariamente attenti a portare a termine la legislatura, e garantirsi così il diritto al vitalizio da parlamentare, piuttosto che a operare scelte nell'interesse complessivo del Paese. Nella corsa grottesca a individuare le energie da definire "verdi", con una logica da tinteggiatori più che da ecologi, l'opzione di razionalizzare i consumi energetici e ridurre la quantità rimane nel territorio dell'indicibile, perché giudicata antitetica all'imperativo di accrescere senza sosta produzione e consumi. Una condizione, quest'ultima, obbligata dall'esigenza di ripagare i colossali debiti contratti per avviare la riconversione, resa necessaria dagli ancora più colossali debiti contratti con l'ambiente naturale. L'umanità si è cacciata in una spirale senza via d'uscita, con la necessità di aumentare continuamente produzione e consumi, causa di degradazione ambientale, per garantire le risorse da impegnare nel miglioramento delle stesse condizioni ambientali. Più ci si inoltra su questo percorso dallo sbocco inevitabilmente catastrofico, più diventa difficile uscirne.

Prima o poi i nodi arriveranno al pettine. In un contesto globale, i disastri ambientali che ci prepariamo a rendere irreversibili causeranno una riduzione della popolazione umana, per usare un anodino eufemismo, e di conseguenza dei consumi, proprio l'effetto che oggi si tenta di evitare. Da qualsiasi parte ci si giri, una riduzione della produzione e dei consumi è inevitabile, si tratta di capire se è preferibile subirla come conseguenza di una scelta ragionata e pianificata oppure di un brusco assestamento verso il basso della popolazione.

Non si fa difficoltà a immaginare che le stesse società europee, caratterizzate da un grado relativamente elevato di garanzie sociali, saranno comunque scosse profondamente dai cambiamenti prossimi venturi. L'impatto sociale sarà, però, ancora maggiore in quelle società caratterizzate non solo da forti sperequazioni nella distribuzione del reddito, ma dalla mancanza anche delle minime garanzie sociali per difendere gli strati più deboli. Instabilità globale a lungo termine è la definizione più ottimistica che possiamo escogitare per descrivere le condizioni di vita che attendono le nuove generazioni.

### **Soluzioni definitive?**

Un ulteriore punto su cui riflettere, anche se le implicazioni sono di medio o lungo periodo e non immediate, è che non ci si può illudere di trovare una soluzione definitiva, capace di assicurare all'umanità un futuro indefinito privo di problemi. Lo sforzo di realizzare una crescita economica incessante non è sostenibile in un mondo in cui le risorse sono finite. A ricordarlo è uno dei capisaldi dell'ecologia, il principio del fattore limitante. Nato dalle ottocentesche osservazioni in campo agronomico, il principio afferma che la crescita biologica è controllata non dall'ammontare totale delle risorse presenti, ma dalla disponibilità di quella più scarsa.

Gli estensori del ben noto rapporto *I limiti dello sviluppo*<sup>2</sup> avrebbero ripreso e aggiornato, a partire dal 1972, il principio del fattore limitante per delineare lo sviluppo della popolazione umana. Nel rapporto sono individuati alcuni possibili scenari futuri, determinati da crisi innescate da scarsità di determinate risorse, che variano da scenario a scenario. La crescita della popolazione e della produzione industriale comportano, oltre al consumo delle risorse, anche inquinamento, e la Terra non è infinita né come serbatoio di risorse né come discarica di rifiuti. Uno degli sce-

2. Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens III WW, *The Limits to Growth*, New York, Potomac Associates - Universe Books, 1972. (traduzione italiana Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens III W W, *I limiti dello sviluppo*, Milano, EST Mondadori, 1972).

nari ipotizzati nell'aggiornamento del 2004 di quel rapporto, intitolato *I nuovi limiti dello sviluppo*<sup>3</sup>, prevede, in particolare, che limiti decisivi allo sviluppo siano causati dall'inquinamento, con conseguenze negative sia dirette, sulla salute umana, sia indirette, con la diminuzione della fertilità del suolo, le alterazioni climatiche, l'assottigliamento dello strato di ozono. L'accumulo di diossido di carbonio in atmosfera, con il conseguente riscaldamento climatico globale, sta attualmente rivestendo il ruolo di fattore limitante per le popolazioni umane.

La capacità portante dell'ambiente non è un dato fisso e immutabile, ma destinato a variare in conseguenza dei cambiamenti ambientali, compresi quelli innescati dalla crescita della popolazione. Le popolazioni umane hanno ripetutamente aumentato la capacità portante del pianeta grazie alla scoperta e all'impiego di nuove tecnologie. L'estrapolazione dei successi passati potrebbe farci considerare con ottimismo il futuro, senza però dimenticare che, insieme al superamento dei limiti precedentemente imposti, le innovazioni tecnologiche hanno comportato anche la nascita di nuovi problemi. L'allevamento ha trascinato con sé le zoonosi, l'uso del legname per costruzioni e riscaldamento ha comportato la desertificazione di ampi territori, l'introduzione dei veicoli con motori a scoppio, inizialmente un sollievo per l'atmosfera delle grandi città impregnata dai miasmi degli escrementi equini, ha finito con il generare un inquinamento atmosferico ancora più grave. Gli esempi potrebbero continuare, con il solo limite dell'imbarazzo della scelta, ma il senso generale è presto individuabile: ogni intervento sulla capacità portante dell'ambiente per superare un limite comporta accresciute esigenze di risorse e il conseguente ostacolo rappresentato da un nuovo limite, magari in precedenza neanche immaginato. Prima o poi una nuova risorsa,

intesa come capacità dell'ambiente di fornire materiali o di permetterne la dispersione, finirà con lo scarseggiare. Sempre che, in uno scenario non previsto dagli estensori dei rapporti sui limiti dello sviluppo ma attualmente alla nostra attenzione, il freno alla crescita della popolazione non sia causato da pandemie, i cui agenti infettivi siano agevolati da densità di popolazione e facilità di spostamenti su scala globale dei singoli individui. Quale che sia la soluzione scelta per risolvere i problemi ambientali che stanno travagliando l'umanità, occorre mettere in conto che altri, nuovi e forse imprevisi problemi ambientali di qualche tipo finiranno con il presentarsi.

Non possiamo illuderci di trovare una soluzione ideale destinata a rimanere tale per sempre, perché i cambiamenti che essa apporterà all'ambiente faranno mutare le condizioni nelle quali l'umanità si troverà a vivere e imporranno sempre nuove sfide future. In fondo, questa è la vita, basta esserne consapevoli. ●



3. Meadows DH, Meadows DL, Randers J, *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Vermont, USA: Chelsea Green Publishing Co, 2004. (traduzione italiana

Meadows DH, Meadows DL, Randers J, *I nuovi limiti dello sviluppo*, Milano, Oscar Saggi Mondadori, 2006).

---

## La transizione energetica

Pietro Barbucci

---

The article shows, with data and graphs, some of the main aspects that make the energy transition a much more complex process than it may appear to an inexperienced observer. It is a matter of replacing over time, but with fairly certain and not remote deadlines, the fossil fuels that have been the planet's energy warehouse for two centuries, but also of efficiently replacing the systems of research, extraction and distribution of energy sources that we have used up to now. This gigantic transformation, which will involve the entire production system, exchanges, movements, up to the cooking of food and the air conditioning of living environments, will have inevitable economic costs, which will have to be distributed in a socially equitable manner, not only for ethical reasons but also to prevent uncontrollable social revolts from blocking any transformation hypothesis in the bud.

Keywords: *Energy transition*

---

### Premessa

Negli ultimi tempi si fa un gran parlare di transizione ecologica e/o di transizione energetica, che di essa è il nucleo essenziale, in connessione con la sfida epocale del cambiamento climatico. L'attenzione dei mezzi di informazione e dell'opinione pubblica si è acuita nelle ultime settimane a causa di due eventi che hanno avuto al centro questa sfida: il G20 di Roma e la Conferenza ONU sui cambiamenti climatici (COP26) di Glasgow.

La prima cosa da dire è che, in generale, il dibattito pubblico sottovaluta l'enorme complessità del problema. Si tratta infatti di cambiare totalmente il modo di produrre e di consumare sul quale l'umanità ha basato il suo sviluppo negli ultimi due secoli che ha come fondamento la disponibilità praticamente illimitata di energia basata sull'uso, assolutamente prevalente, dei combustibili fossili<sup>1</sup>. Questa disponibilità è garantita da un ben collaudato sistema di ricerca, estrazione e distribuzione a livello planetario del carbone, del petrolio e del gas naturale attraverso reti di distribuzione capillari che raggiungono ogni angolo del mondo per alimentare le catene della produzione di beni, del trasporto di persone e di cose e del condizio-



1. Nel 2019 le fonti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) hanno coperto il 78,7 % del consumo energetico a livello mondiale. Dunque tutte le re-

stanti fonti (nucleare, idrico, biomasse, rifiuti, eolico, solare, geotermico) coprono poco più del 20 % (Fonte IEA Key World Energy Statistics 2021

[www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021](http://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021)).

namento degli edifici, le quali catene a loro volta si basano su processi e tecnologie utilizzatrici di tali combustibili.

Prescindere dall'uso dei combustibili fossili (com'è necessario, se si vuole che la crisi climatica legata all'alto livello di concentrazione di gas serra in atmosfera rimanga gestibile) implica dunque non solo modificare i processi produttivi (o addirittura abbandonare l'oggetto della produzione, come nel caso dei motori a combustione interna), cambiare le tecnologie attualmente utilizzate nel trasporto, nel riscaldamento e nella cottura ma anche sostituire quelle reti di distribuzione con reti alternative almeno altrettanto efficienti che sono da costruire ex novo o da potenziare e ristrutturare profondamente. Non solo, questa immane trasformazione implica un forte aumento della penetrazione elettrica (ovvero della percentuale dei fabbisogni energetici soddisfatta dall'elettricità), il che vuol dire che la produzione di elettricità dovrà crescere ad un tasso maggiore del passato proprio mentre si devono dismettere gli impianti con i quali essa è stata tradizionalmente prodotta. Una sfida colossale che richiede il consenso e il convergente impegno di tutti i Paesi del mondo (sia di quelli sviluppati che di quelli in via di sviluppo) ed un cambiamento profondo nelle abitudini di vita e di lavoro delle singole persone. Si dovrà inoltre aver cura che gli inevitabili costi di questa ingente trasformazione siano distribuiti in maniera socialmente equa, non solo per ragioni etiche ma anche per evitare che incontrollabili rivolte sociali blocchino sul nascere ogni ipotesi di trasformazione.

C'è, infine, da considerare che buona parte dell'attuale popolazione mondiale (quasi 8 miliardi di persone) vive in condizioni di grave sottosviluppo. Il nuovo modello di sviluppo, ambientalmente compatibile, dovrà dunque consentire anche alle aree più arretrate del globo di raggiungere standard di sviluppo che soddisfino i bisogni fonda-

mentali di ogni uomo. Né si può dimenticare che proprio nelle aree meno sviluppate la popolazione continua a crescere a ritmi sostenuti e a meno che si introducano, in quei paesi, drastiche politiche di controllo della natalità, la popolazione mondiale aumenterà fino a raggiungere i dieci miliardi di persone, facendo crescere in proporzione i fabbisogni energetici. Occorrerà dunque che le nuove tecnologie di produzione e di consumo siano a minore intensità energetica, cioè consentano di realizzare prodotti o soddisfare bisogni utilizzando minori quantità di energia rispetto alle tecnologie attuali in modo che, nella fase transitoria in cui si continueranno ad usare (anche se in misura via via minore) i combustibili fossili, lo sviluppo a livello planetario possa continuare senza aumentare ma anzi diminuendo progressivamente le attuali emissioni di gas serra.

### **Emissioni di CO<sub>2</sub> e clima**

Innanzitutto facciamo il punto sulla situazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e altri gas climalteranti<sup>2</sup> e sugli effetti che queste emissioni hanno sul clima. Ci aiuta in questo la bozza del sesto Assessment Report (AR6) recentemente pubblicato dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'organismo delle Nazioni Unite, composto da centinaia di scienziati di ogni parte del mondo, che dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso monitora il fenomeno del cambiamento climatico e la sua relazione con la concentrazione di gas serra nell'atmosfera. Questo gruppo di scienziati fa periodicamente il punto sul miglioramento delle conoscenze sull'evoluzione del clima e sul miglioramento dei modelli predittivi, riportandone i risultati nei cosiddetti Assessment reports. Finora ne sono stati pubblicati 5, l'ultimo dei quali (AR5) nel 2014. Il sesto assessment report è in stato di avanzata elaborazione. L'edizione finale è prevista per il 2022, ma la bozza è già pronta ed è stata resa disponibile come supporto alle de-

2. Oltre alla CO<sub>2</sub> i più importanti gas serra sono il metano (CH<sub>4</sub>), l'ossido di azoto (N<sub>2</sub>O), i gas fluorurati (HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>) e l'ossido di zolfo (SO<sub>2</sub>).

Le emissioni dei gas serra diversi dalla CO<sub>2</sub> vengono tradotte in termini di emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub> attraverso un fattore che esprime il loro potenziale di ri-

scaldamento globale (GWP) rispetto alla CO<sub>2</sub> il cui GWP è assunto pari ad 1. In questo modo l'effetto complessivo dei gas serra è espresso in forma di emis-

sioni di CO<sub>2</sub> eq. In Europa, ad esempio, nel 2019 la CO<sub>2</sub> ha rappresentato l'80% del totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> eq., il metano l'11%, l'ossido di azoto il 6%.



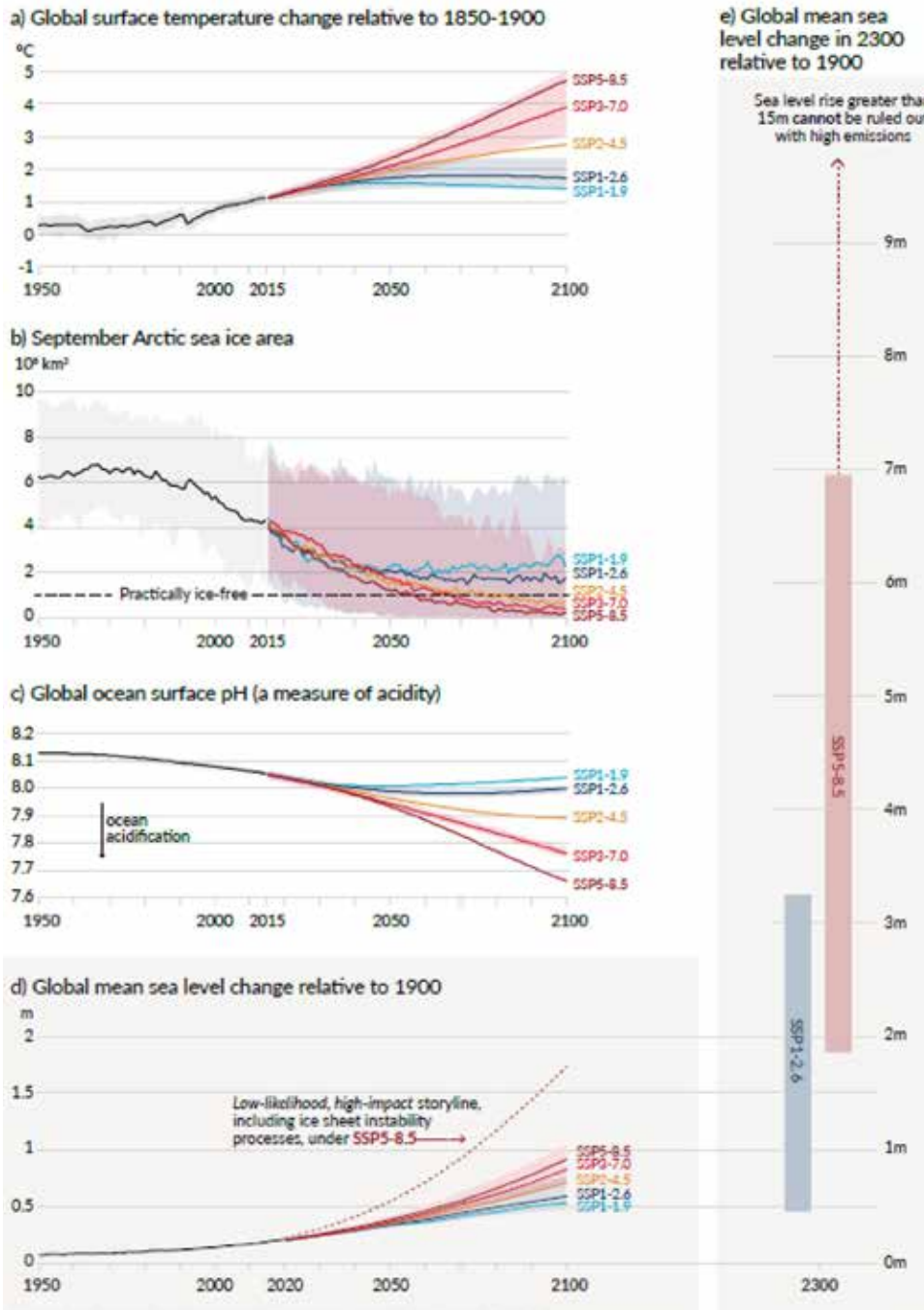


Figura 1. Previsioni degli effetti dell'aumento dei gas serra in atmosfera in 5 diversi scenari (dal Summary for Policymakers del documento indicato in nota 3).

cisioni della COP26 di Glasgow<sup>3</sup>.

La situazione a fine 2019 era la seguente. La quantità totale di CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera dalle attività umane dal 1850 al 2019 può essere stimata in 2390 Gt (miliardi di tonnellate). Questa quantità ha provocato finora un aumento della temperatura media dell'atmosfera, rispetto al periodo 1850-1900, di 1,07 °C<sup>4</sup>. L'attuale tasso di emissione di CO<sub>2</sub> ha superato i 36 Gt/anno nel 2019 (nel 2020, a causa del rallentamento delle attività economiche dovuto alla pandemia, esso si è ridotto a 34 Gt ma si prevede che già quest'anno tornerà sui livelli precedenti la crisi).

Si ricorderà che alla COP21, tenutasi a Parigi nel 2015, si era raggiunto un primo accordo per limitare a 1,5 °C l'aumento di temperatura dell'atmosfera, avendo ritenuto inaccettabile permettere aumenti maggiori in considerazione dell'entità degli effetti sul clima (ondate di calore, siccità /alluvioni, innal-

3. IPCC International Panel on Climate Change, Working Group I – The Physical Science Basis, Sixth Assessment Report (AR6), 9 August 2021.

4. Si tratta di stime probabilistiche. L'aumento già registrato della temperatura sta nel range 0,8-1,3 °C con una probabilità maggiore del 67%. Analogamente la CO<sub>2</sub> finora emessa sta nel range 2390 ± 240 Gt con una probabilità maggiore del 67%. Questo valore della CO<sub>2</sub> emessa così come le stime del carbon

budget si riferiscono alla sola CO<sub>2</sub> ma tengono conto dell'effetto di riscaldamento globale degli altri gas serra diversi dalla CO<sub>2</sub>.

budget si riferiscono alla sola CO<sub>2</sub> ma tengono conto dell'effetto di riscaldamento globale degli altri gas serra diversi dalla CO<sub>2</sub>.

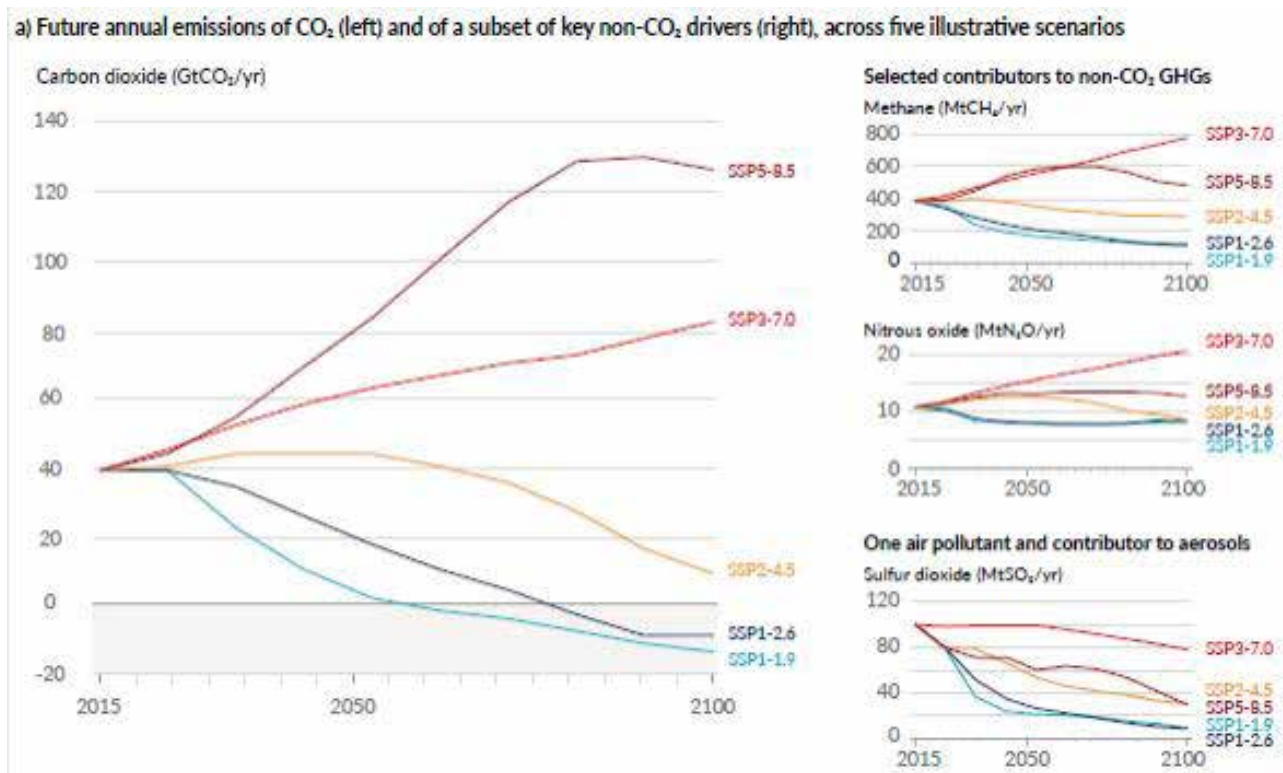


Figura 2. Evoluzione temporale delle emissioni di CO<sub>2</sub> e di altri gas serra nei 5 scenari considerati (dal Summary for Policymakers del documento indicato in note 3)

zamento del livello dei mari dovuto allo scioglimento dei ghiacci) previsti dai modelli per 2 o più gradi di aumento. Oggi questa previsione si è fatta più precisa; si veda la Fig. 1 nella quale sono illustrati gli effetti delle attuali e delle future emissioni di CO<sub>2</sub> e degli altri gas ad effetto serra sulle principali componenti del sistema climatico. Gli scenari considerati sono quelli illustrati in Fig. 2: due di questi (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) prevedono una riduzione costante delle emissioni annue in modo più o meno accelerato, il terzo (SSP2) rappresenta il caso in cui le emissioni si mantengano costanti su valori poco superiori a quelli attuali fino al 2050 per poi iniziare una lenta discesa, gli ultimi 2 (SSP3 e SSP5) rappresentano invece una situazione di crescita incontrollata (in differenti

ipotesi). Come si vede in Fig. 1 solo lo scenario SSP1-1.9 permette di limitare l'aumento della temperatura media dell'atmosfera ad 1,5 °C e solo i primi due consentono una stabilizzazione della situazione all'orizzonte 2100. Tutti gli altri scenari evidenziano conseguenze drammatiche in termini di aumento di temperatura (da circa 3 a circa 5 °C, con le ovvie conseguenze sul piano dei fenomeni meteorologici), di scioglimento della calotta polare artica, che scomparirebbe poco dopo il 2050, e di innalzamento del livello dei mari fino ad 1 m.<sup>5</sup>

D'altra parte, dal 2015 ad oggi la realtà si è incaricata di mostrarci che gravi conseguenze del cambiamento climatico (rapido aumento dei fenomeni meteorologici estremi, incendi incontrollabili

5. Oltre agli effetti a breve termine, occorre considerare quelli a lungo termine. Il rapporto dell'IPCC ha studiato anche questi con risultati preoccupanti.

È stato calcolato ad esempio che anche nello scenario SSP1-2.6 (uno dei due più virtuosi) nel 2300 l'aumento del livello del mare sarà compreso nel ran-

ge 0,5 - 3,2 m (fig. 1 e) a seguito del riscaldamento profondo e del prodeguimento dello scioglimento dei ghiacci.

Riscaldamento globale contenuto entro  (°C)	Riscaldamento addizionale fino al limite di temperatura  (°C)	Emissioni residue di CO <sub>2</sub> dall'inizio del 2020 (Gt)				
		<i>Probabilità di limitare il riscaldamento globale al valore delle prima colonna</i>				
		17%	33%	50%	67%	83%
1,5	0,43	900	650	500	400	300
1,7	0,63	1450	1050	850	700	550
2,0	0,93	2300	1700	1350	1150	900

**Tabella 1. Stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> rimanenti prima di raggiungere un certo valore di temperatura (dal Summary for Policymakers indicato in nota 3).**

li e devastanti, arretramento a vista d'occhio dei ghiacciai terrestri e accelerazione del fenomeno di scioglimento delle calotte polari) si manifestano già con l'attuale aumento di circa un grado, rafforzando dunque la necessità di limitare il più possibile l'aumento delle temperatura dell'atmosfera. Dunque tutto indica che sarebbe assai saggio fare ogni sforzo per rimanere entro il limite di 1,5 °C, ma quali sono le condizioni perché questo accada? L' IPCC ha calcolato quali sono i cosiddetti "carbon budget" cioè le quantità di CO<sub>2</sub> che ancora possiamo emettere senza superare un certo valore di aumento della temperatura. Come si vede in tabella 1, per rimanere entro 1,5 °C con una probabilità abbastanza alta (67%) non dovranno essere emessi più di 400 Gt di CO<sub>2</sub>. Agli attuali ritmi di emissione il carbon budget per rimanere entro un grado e mezzo si esaurirebbe dunque nell' arco di 11 anni circa. La terza riga di questa tabella mostra anche che se venissero emessi più

di 1150 Gt (circa 30 anni al ritmo attuale) verrebbero superati (con la stessa probabilità) i 2 °C di aumento della temperatura.

È evidente allora che, se si vuole avere qualche speranza che il limite fissato nella COP di Parigi del 2015 e ribadito a Glasgow sia rispettato, occorre attuare immediatamente una rapida inversione di tendenza che porti all'azzeramento delle emissioni entro metà del secolo, con un andamento tale da garantire che le emissioni aggiuntive nell'intero periodo da oggi al 2050 non superino i 400 Gt.

### **Emissioni zero entro il 2050?**

Il braccio di ferro che si è visto alla COP 26 di Glasgow verteva principalmente sull'accettazione della data del 2050 come termine per completare la transizione. Infatti, limitare le emissioni di gas serra in atmosfera significa prima di tutto trasformare radicalmente il settore energetico che

è responsabile di oltre l'80% delle emissioni, abbandonando più in fretta possibile l'uso dei combustibili fossili sui quali esso è ancora sostanzialmente basato. Questa scelta rappresenta per molti paesi (principalmente i produttori di questi combustibili o i consumatori in impetuoso sviluppo) un passo molto difficile da compiere, in un arco di tempo così breve, senza mettere a rischio le proprie economie. Da qui quello che molti hanno giudicato un compromesso al ribasso visto che il documento finale, faticosamente approvato, resta vago sulla data limite per il completamento del processo e non contiene l'impegno all'abbandono del carbone (che è il combustibile che emette la maggiore quantità di CO<sub>2</sub> per unità di energia prodotta) ma solo quello di una sua riduzione.

Domandiamoci ora cosa dovrebbe accadere di qui al 2050 per centrare quell'obiettivo. Nell'immaginare questa transizione ci aiuta uno studio dell'International Energy Agency (IEA) che ha definito uno scenario (denominato "NetZero Emissions by 2050 Scenario", NZE) che potrebbe portare all'azzeramento delle emissioni di CO<sub>2</sub> del settore energetico entro il 2050<sup>6</sup>. La Fig. 3 mostra l'andamento prevedibile delle emissioni dei diversi settori nel caso in cui si applichino le misure previste e si conseguano gli obiettivi intermedi previsti dallo scenario, alcuni dei quali sono riportati in corrispondenza delle scadenze di ogni quinquennio. Come si può osservare, la decrescita più rapida è quella del settore della produzione elettrica dove si prevede che le emissioni possano essere azzerate entro il 2040. Gli altri settori procedono più lentamente, per la maggiore difficoltà nell'abbandonare i combustibili tradizionali. Si osserva anche che, al 2050, è comunque presente un'emissione residua che dovrà essere compensata con tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub> e con altri pozzi di carbonio, per avere emissioni nette uguali a zero. Se si esaminano alcuni degli obiettivi intermedi (distinti per

colore a seconda del settore a cui afferiscono) si vede come si tratti di prendere decisioni drastiche e di porsi traguardi molto ambiziosi. Ad esempio, fin da oggi non dovrebbe più essere autorizzata la costruzione di nuovi impianti a carbone senza cattura e sequestro della CO<sub>2</sub><sup>7</sup> né lo sfruttamento di nuovi giacimenti di gas o di petrolio o l'apertura o l'ampliamento di miniere di carbone. A partire dal 2025 non dovrebbe essere più consentita la vendita di caldaie domestiche a combustibili fossili (incluso il gas), nel 2030 il 60% delle auto nuove dovrà essere elettrico.

In questo scenario, decisivo risulta il decennio attuale nel quale si dovrà invertire la pendenza della curva delle emissioni e conseguire entro il 2030 una riduzione di circa 1/3 rispetto ai valori attuali applicando in maniera estensiva tutte le tecnologie pulite ed efficienti già esistenti. Lo scenario prevede che l'economia mondiale cresca del 40% nel 2030 ma usi il 7% in meno di energia. Questo sarà possibile solo se vi sarà un impegno a livello mondiale per far crescere l'efficienza energetica in maniera sostanziale in tutti i settori applicativi. La riduzione delle emissioni del settore energetico non sarà limitata alla CO<sub>2</sub>; si prevede che le emissioni di metano diminuiscano del 75% nel giro di 10 anni grazie ad uno sforzo a livello globale per utilizzare tutti gli strumenti e le tecnologie per il suo abbattimento.

Al contempo in questo decennio si dovranno aumentare fortemente gli investimenti in ricerca per sviluppare e portare sul mercato nuove tecnologie (ad es. batterie avanzate, nuovi elettrolizzatori per la produzione di idrogeno, metodi innovativi per la cattura diretta della CO<sub>2</sub> dall'aria) necessarie per proseguire il processo di decarbonizzazione del settore energetico nei decenni successivi.

#### *Energia elettrica*

Nel nuovo scenario crescerà sempre più il ruolo dell'energia elettrica che, oltre ai fabbisogni attuali, dovrà coprire nuove necessità nel settore

6. IEA – International Energy Agency, Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, July 2021 (3rd revision).

7. Le tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage – CCS) si sono mostrate di difficile applicazione nel settore termoelettri-

co per la loro complessità e bassa efficienza e per il costo molto elevato. Dopo oltre un decennio di tentativi le applicazioni dimostrative sono assai limitate.

Per immaginare una loro significativa diffusione è necessario un salto tecnologico.

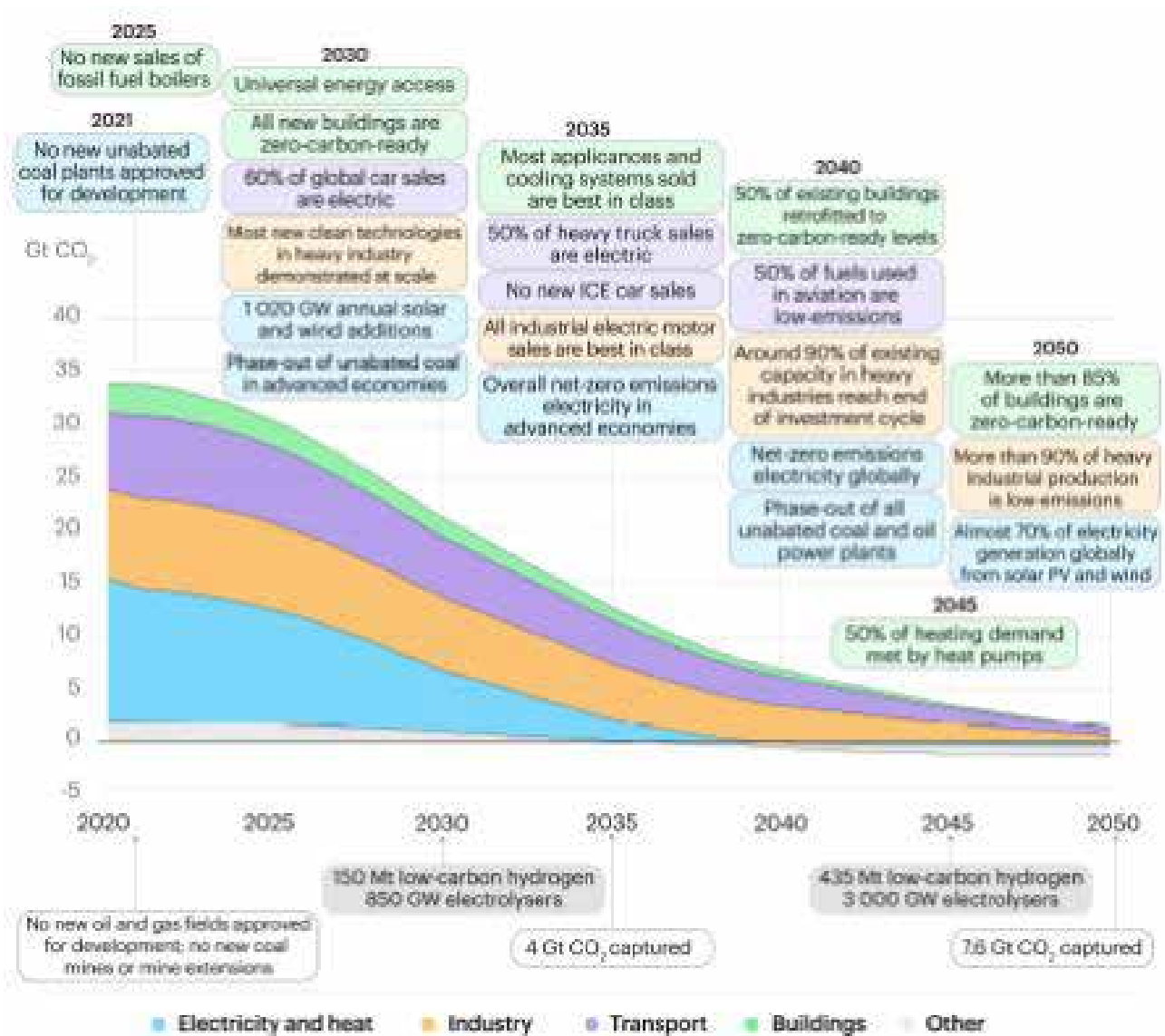


Figura 3. Andamento prevedibile delle emissioni dei diversi settori nelle scenario NZE dell' IEA (dal documento indicato in nota 6)

dei trasporti (per alimentare le auto elettriche), in quello del riscaldamento (per le pompe di calore) e nella produzione di idrogeno tramite elettrolisi. La decarbonizzazione del settore elettrico avverrà essenzialmente tramite una rapida crescita del ruolo del Fotovoltaico (FV) e dell'eolico (le cui tecnologie permettono già oggi di produrre energia elettrica a costi più bassi delle fonti fossili) in parallelo con una graduale dismissione delle grandi centrali alimentate con combustibili fossili a iniziare da quelle a carbone (che è il combustibile che genera più CO<sub>2</sub> a parità di energia pro-

dotta). L'installazione annuale di nuovi impianti FV ed eolici dovrebbe raggiungere entro il 2030 livelli quattro volte superiori ai livelli record del 2020, giungendo a livello globale a 600.000 MW di FV e 390.000 MW di eolico ogni anno. Al contempo si dovranno continuare ad impiegare le fonti idroelettrica e nucleare che sono le uniche in grado di produrre con continuità grandi quantità di energia elettrica senza emissioni di CO<sub>2</sub>. Nel settore nucleare dovranno essere assunte importanti decisioni che riguardano l'estensione della vita degli impianti attualmente in esercizio,

il tasso di nuove costruzioni e l'impiego di nuove tecnologie. Nelle economie avanzate, dato che un gran numero di impianti oggi in esercizio giungono a fine vita entro questo decennio, se non si faranno investimenti per allungarne la vita e nuovi progetti oltre quelli già in via di realizzazione la produzione elettrica da nucleare diminuirà di due terzi nel giro dei prossimi venti anni. Nei mercati emergenti e nelle economie in via di sviluppo il tasso di crescita del nucleare secondo lo scenario NZE dovrebbe aumentare di 4 volte, passando dai 6.000 MW per anno del decennio 2011-2020 a 24.000 MW per anno nel 2030. L'ultimo insieme di decisioni riguarda l'innovazione nel settore ed in particolare l'impegno di sviluppo e dimostrazione necessario per portare sul mercato una nuova generazione di reattori nucleari refrigerati a gas e di reattori modulari di piccola taglia che potrebbero espandere il mercato del nucleare oltre la produzione elettrica contribuendo alla produzione di idrogeno ed altri combustibili sintetici. Insieme alla crescita della disponibilità di energia elettrica dovrà crescere la flessibilità del sistema elettrico necessaria a far fronte alla discontinuità delle fonti rinnovabili più importanti (solare ed eolico) mentre vengono dimesse le fonti tradizionali di flessibilità costituite dagli impianti a combustibile fossile. Sarà dunque necessario aumentare fortemente tutte le altre fonti di flessibilità (batterie ed altri sistemi di accumulo, gestione della domanda, centrali elettriche flessibili senza emissioni di carbonio, nucleari o CCS) inserite in reti elettriche digitali ed intelligenti. In parallelo si dovrà assicurare una crescente resilienza del sistema elettrico rispetto al pericolo di attacchi informatici ed altre minacce. Nello scenario NZE, entro il 2030 a livello globale il 60% di elettricità dovrebbe essere fornito dalle energie rinnovabili; entro il 2040 si dovrebbero raggiungere le emissioni zero (anche con il contributo del nucleare e di impianti a combustibili fossili con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>); nel 2050 le rinnovabili dovrebbero fornire il 90 % del fabbisogno elettrico, con il restante 10% proveniente da nucleare, da idrogeno e da un minimo contributo di residui impianti a combustibili fossili con CCS.

Infine va ricordato che la transizione elettrica, con tutti i suoi problemi, è la parte facile del piano di transizione e che le vere sfide sono i cambiamenti dei processi produttivi, del settore dei trasporti (terrestri, aerei e navali) e degli utilizzi civili (riscaldamento, acqua sanitaria, cottura dei cibi). Un piccolo esempio del cambiamento necessario: negli anni passati i comportamenti ambientalmente virtuosi nel settore del riscaldamento sono consistiti prima nel passaggio dal gasolio al gas e poi nell'installazione di nuove caldaie a gas più efficienti (a condensazione). D'ora in poi l'obiettivo dovrà essere l'eliminazione di tutte le caldaie a gas e la loro sostituzione con altri sistemi di riscaldamento (ad esempio, pompe di calore).

#### *Idrogeno*

La prima cosa da ricordare, parlando di idrogeno, è che esso non è presente in natura e deve essere prodotto, con diverse tecnologie, a partire dalle fonti primarie di energia (fossili, nucleare, rinnovabili). Ad esempio, partendo dal gas naturale o da altri idrocarburi si produce idrogeno con una reazione di steam reforming che ha però l'inconveniente di produrre anche CO<sub>2</sub> (si parla in questo caso di idrogeno "grigio"). Ai fini della riduzione di gas serra ha senso produrre idrogeno per questa via solo se la CO<sub>2</sub> generata dalla reazione viene separata e iniettata in formazioni geologiche profonde (ad esempio quelle in esaurimento da cui provengono gli idrocarburi). Una via alternativa, che non presenta il problema della produzione di CO<sub>2</sub> è quella della elettrolisi dell'acqua che viene scissa in H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> utilizzando energia elettrica prodotta da fonte nucleare o rinnovabile. L'idrogeno prodotto per questa via, però, ha però oggi un costo molto elevato per la ridotta efficienza degli attuali elettrolizzatori e per il loro alto costo.

Il primo passo da compiere per accrescere l'impiego di idrogeno è utilizzarlo in quelle applicazioni che non richiedano immediatamente una nuova infrastruttura di trasmissione e distribuzione di idrogeno, ad esempio impiegandolo nell'industria, nelle raffinerie e nella generazione elettrica oppure distribuendo agli utenti finali mi-

sce di idrogeno e gas naturale attraverso l'attuale rete di distribuzione del gas. Lo scenario NZE prevede che l'impiego globale di idrogeno passi da meno di 90 Mt (milioni di tonnellate) nel 2020 a oltre 200 Mt nel 2030. Nello stesso decennio è previsto che la percentuale di idrogeno "pulito" passi dal 10% al 50% del totale (la metà proveniente da elettrolisi e il restante 20% da impianti a combustibili fossili con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>).

Questi sviluppi dovrebbero facilitare un rapido aumento della capacità produttiva di elettrolizzatori e in parallelo lo sviluppo di una nuova infrastruttura di trasporto e stoccaggio dell'idrogeno, con la conseguente riduzione dei costi. L'idrogeno immagazzinato contribuirà a bilanciare sia le fluttuazioni nella produzione e nei consumi elettrici che gli sbilanciamenti che possono nascere tra la richiesta di idrogeno e la sua produzione con sistemi rinnovabili fuori rete. Durante il decennio 2020-2030 è prevista anche una grande crescita delle apparecchiature alimentate direttamente ad idrogeno, tra cui 15 milioni di veicoli a celle a combustibile che dovrebbero circolare entro il 2030. Lo scenario NZE prevede che, dopo il 2030, l'impiego di idrogeno si espanda rapidamente in tutti i settori. Nel settore elettrico è previsto che l'idrogeno ed altri combustibili basati su di esso contribuiscano alla flessibilità del sistema elettrico alimentando in co-combustione impianti a gas e a carbone. Questo uso comporterebbe l'impiego di grandi volumi di idrogeno facendo del settore elettrico un settore trainante della richiesta di idrogeno. Nel settore dei trasporti l'idrogeno dovrebbe rappresentare circa un terzo del combustibile utilizzato nel 2030 dai mezzi pesanti (purché siano prese per tempo le decisioni necessarie a sviluppare la rete di distribuzione dell'idrogeno). Entro la metà del secolo l'idrogeno dovrebbe soddisfare anche almeno il 60% del consumo totale di combustibile nel trasporto navale.

Nello scenario in esame si prevede che nel 2050 la produzione di idrogeno possa raggiungere i 530 Mt, il 60% dei quali provenienti da elettrolizzatori alimentati dalla rete elettrica, da fonti

rinnovabili dedicate e dal nucleare. Pertanto un grande sforzo è richiesto per accrescere al ritmo necessario la capacità manifatturiera di elettrolizzatori, oggi molto scarsa, così come per garantire la disponibilità di energia elettrica destinata allo scopo. Lo scenario prevede anche un grande sviluppo del commercio dell'idrogeno, con grandi quantità di questo gas che proverranno da aree ricche di gas e di energie rinnovabili come il Medio Oriente, l'America centrale e meridionale e l'Australia e si dirigeranno verso i centri di consumo in Asia e in Europa.

Il rapporto IEA evidenzia anche due questioni politiche della massima importanza che debbono ritenersi abilitanti la realizzazione del programma: il consenso sociale e la sicurezza energetica. Sul primo fronte viene sottolineato che un cambiamento di questa portata e rapidità non può avvenire senza la partecipazione convinta dei cittadini. È stato stimato infatti che il 55% della riduzione delle emissioni prevista dipende dalle scelte dei consumatori (come l'acquisto di un veicolo elettrico, il cambiamento dei metodi di riscaldamento e di cottura, i cambiamenti di comportamento del settore della mobilità). Inoltre è prevedibile che il processo di transizione porti ad un aumento, che si spera contenuto, della spesa per i prodotti e i servizi energetici. Occorrerà dunque predisporre strumenti per proteggere le fasce più deboli della popolazione da questi aumenti, garantendo l'accesso universale all'energia.

Per quanto riguarda la sicurezza energetica si sottolinea che il processo di transizione delineato da questo scenario necessita di grandi quantità di minerali critici (rame, cobalto, litio, manganese e varie terre rare). Si prevede che la richiesta di questi materiali cresca di sette volte rispetto ai valori attuali soltanto in questo decennio. È evidente che se l'offerta non riuscisse a tenere il passo della domanda o se la produzione si concentrasse in un piccolo numero di Paesi, i Paesi consumatori sarebbero esposti alla volatilità dei prezzi e al potere di ricatto dei produttori. Ci sono poi le preoccupazioni per i danni ambientali che potrebbero essere associati all'estrazione di questi minerali. Se ne è avuta una prova nelle prote-

ste che, in Serbia, hanno accompagnato il progetto per la realizzazione di una nuova miniera di litio, proteste che hanno portato, nei giorni scorsi, al suo ritiro.

### **Gli impegni dell'Unione Europea e la parte dell'Italia**

L'Unione Europea, che rappresenta soltanto l'8% delle emissioni globali, è stata finora la leader nella lotta al cambiamento climatico, attuando la maggiore riduzione percentuale delle sue emissioni di CO<sub>2</sub> (circa il 20% rispetto al 1990) rispetto alle altre aree del globo, ed intende continuare ad esserlo nella nuova impegnativa fase. In attuazione della legge europea sul clima, entrata in vigore nel Luglio scorso, che stabilisce l'obiettivo vincolante delle neutralità climatica del continente entro il 2050, la Commissione Europea ha pubblicato una comunicazione al Consiglio e alle altre Istituzioni europee, intitolata "Fit for 55%" con la quale propone il taglio del 55% entro il 2030 delle emissioni di CO<sub>2</sub> dell'Unione<sup>8</sup>. La comunicazione propone un pacchetto di misure che comprende tredici nuove misure legislative (8 revisioni di direttive esistenti e 5 nuove) e misure specifiche di sostegno finanziario che aiutino imprese e cittadini a compiere la transizione necessaria. Il mix di proposte, che comprende sia nuovi regolamenti che un'estensione del mercato dei diritti di emissione, nasce da un'analisi preventiva degli effetti che queste misure possono avere sul costo della transizione e puntano a minimizzarlo.

Sul fronte della fissazione di un prezzo per le emissioni di CO<sub>2</sub> si colloca la revisione della direttiva sull'Emission Trading System (EU ETS) finora limitato alla generazione elettrica e ad alcuni settori industriali fortemente energivori. La revisione prevede sia l'estensione del sistema al trasporto marittimo, al trasporto aereo, a quello pesante su strada e agli edifici, sia la fissazione

di limiti di emissione progressivamente ridotti in modo da far crescere il prezzo di emissione. Particolarmente importante è l'inclusione, a partire dal 2026, del settore edilizio che è responsabile di oltre un terzo delle emissioni dell'Unione. La proposta prevede che entro il 2030 i settori coperti dall'EU ETS debbano ridurre le proprie emissioni del 61% rispetto ai valori del 2005.

Nel settore della mobilità pulita e dei combustibili alternativi viene rivisto il regolamento sulle emissioni di CO<sub>2</sub> di autovetture e furgoni, fissando un nuovo obiettivo: le emissioni di CO<sub>2</sub> dei nuovi veicoli nel 2030 dovranno essere del 55% inferiori ai livelli attualmente previsti. In parallelo il regolamento sull'infrastruttura per i combustibili alternativi assicurerà il tempestivo sviluppo delle reti di ricarica e di rifornimento di veicoli più puliti. Sul terreno legislativo sono proposte anche nuove normative che mirano ad incrementare l'uso di combustibili alternativi nei settori aereo e marittimo mentre è in preparazione una direttiva sull'impiego dell'idrogeno ed altri combustibili decarbonizzati.

Nel settore più propriamente energetico viene rivista la direttiva sulle energie rinnovabili che nel 2030 dovranno coprire il 40% del fabbisogno energetico, anziché il 32% come finora previsto. Un'altra direttiva che viene modificata è quella sull'efficienza energetica; la modifica ha il doppio scopo di innalzare il livello di ambizione degli obiettivi di efficienza e di renderli vincolanti, in modo da ottenere entro il 2030 una riduzione del 9% del consumo di energia rispetto alle proiezioni dello scenario di riferimento. È anche prevista una direttiva sulla tassazione dell'energia che mira ad armonizzare la tassazione dei prodotti energetici all'interno dell'Unione e ad eliminare ogni incentivo all'uso di combustibili fossili favorendo invece quello di combustibili puliti.

Un ultimo pacchetto riguarda la protezione della natura e l'incremento dei pozzi naturali di carbo-

<sup>8</sup>. European Commission "Fit for 55": delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, COM(2021) 550 final, 14.7.2021



nio dell'Unione. Va in questa direzione la direttiva sull'uso del suolo e la silvicoltura che si propone di rovesciare l'attuale tendenza all'aumento delle emissioni di questi settori e ad aumentare la quantità e qualità delle foreste europee. Viene fissato un obiettivo UE di assorbimento netto dei gas a effetto serra nel settore agricolo e forestale pari a 310 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente entro il 2030, con obiettivi nazionali specifici per contribuire a tale risultato.

Per aiutare lo sviluppo del processo di transizione e la sua equità sociale la Commissione prevede di istituire, accanto ai fondi già previsti dalla legislazione vigente (Bilancio ordinario dell'Unione e Next generation EU), uno specifico Fondo sociale per il clima che dovrebbe fornire al bilancio dell'UE, nel periodo 2025-2030, circa 72 miliardi di € provenienti dal nuovo sistema per lo scambio di quote di emissione (EU ETS). Il Fondo consentirà agli Stati membri di sostenere le famiglie vulnerabili a reddito medio e basso, gli utenti dei trasporti e le piccole e piccolissime imprese che potranno subire le ripercussioni dall'estensione dello scambio di quote di emissioni all'edilizia e ai trasporti.

Queste proposte della Commissione dovranno ora passare al vaglio del Parlamento e del Consiglio europei e si prevede che, dopo i consueti e faticosi negoziati interistituzionali, le decisioni finali possano essere assunte entro la fine del 2022.

Conviene ora chiederci che tipo di impegno richiederanno al nostro Paese obiettivi come quelli che si vanno delineando a livello europeo. L'Italia è tutto sommato ben posizionata rispetto ai precedenti obiettivi europei (quelli per il 2020): essi sono stati sostanzialmente raggiunti e due di essi, l'obiettivo di penetrazione delle energie rinnovabili nel settore elettrico e quello della quota dei consumi finali lordi complessivi di energia coperta da fonti rinnovabili, sono stati superati. Tuttavia nell'ultimo periodo questa spinta si è esaurita. Basta dire che lo scorso anno sono stati installati in Italia soltanto circa 1.000 MW di nuovi impianti rinnovabili, di cui 792 MW di FV e 193 MW di eolico<sup>9</sup>. Il brusco rallentamento

è essenzialmente dovuto alla complessità e alla lentezza delle procedure autorizzative.

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra il nostro Paese è passato da 519 Mt di CO<sub>2</sub> eq. nel 1990, a 589 Mt nell'anno di picco 2005 per scendere a 418 Mt nel 2019, con una riduzione rispetto al 1990 del 19,4%<sup>10</sup>. Per raggiungere l'obiettivo di un taglio del 55% rispetto al 1990 dovremo dunque tagliare un ulteriore 35,6% ovvero 185 Mt in 9 anni. Le emissioni della sola CO<sub>2</sub> hanno rappresentato, nel 2019, l'81,2% di tutte le emissioni di gas serra raggiungendo le 339,8 Mt rispetto alle 439,5 Mt del 1990 (con un taglio di 100 Mt, pari a circa il 23%). Se si osserva come queste emissioni si distribuiscano tra i diversi settori principali si vede che il settore termoelettrico contribuisce per 81 Mt, quello dei trasporti su strada per 97 Mt, quello degli usi civili (commerciale, residenziale, istituzionale) per 69 Mt, l'industria manifatturiera per 49 Mt.

Il taglio minimo da realizzare di qui al 2030 sulle emissioni della sola CO<sub>2</sub> rispetto al 1990 è di  $439,5 \times 0,55 = 241,5$  Mt (ipotizzando che tutti restanti gas serra, in particolare il metano, raggiungano i loro obiettivi di taglio individuali). Sottraendo i tagli già effettuati finora rimangono 141,5 Mt da tagliare. Per raggiungere quest'obiettivo bisogna immaginare che ciascuno dei 3 settori più importanti (il settore termoelettrico, quello dei trasporti e quello civile) tagli le proprie emissioni del 50% sostituendo il 50% del fabbisogno termico con energia elettrica e che un 15% del fabbisogno termico del settore industriale sia soddisfatto da idrogeno prodotto per elettrolisi. Si avrebbe così in totale un risparmio di circa 130 Mt di CO<sub>2</sub> e, con il contributo degli altri settori minori, l'obiettivo potrebbe essere raggiunto. Se si calcola di quanto dovrebbe aumentare corrispondentemente la disponibilità di energia elettrica da fonte rinnovabile si trova che sarebbero necessari 258 TWh aggiuntivi di energia rinnova-

9. TERNA - Pubblicazioni statistiche, Dati statistici 2020 <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/publicazioni-statistiche>

10. ISPRA - *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. National report 2021*, Rapporto 341/2021, Aprile 2021.


bile<sup>11</sup> per produrre i quali bisognerebbe installare, entro il 2030, 97.500 MW di nuovo fotovoltaico, 58.500 GW di nuovo eolico e 3.000 MW di rinnovabili programmabili (idrico, geotermico, biomasse). Per il FV e l'eolico si tratta di valori 5 volte maggiori della capacità installata finora, con tassi medi annui di installazione da 10 a 20 volte superiori a quelli del 2020: una sfida colossale.

È vero che questo sforzo titanico può contare sull'aiuto proveniente dall'Unione Europea attraverso il fondo Next Generation EU e i relativi Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza. In effetti la missione 2 del nostro PNRR destina alla "rivoluzione verde e transizione ecologica" 68,6 Mld € e, complessivamente, gli investimenti per il contrasto al cambiamento climatico previsti dal PNRR sono il 40 % del totale; ma possiamo essere certi che non mancheranno difficoltà e resistenze. Un esempio di queste ultime si è avuto pochi giorni fa (il 10 Dicembre 2021) quando il Governo ha definito le tempistiche di sostituzione dei veicoli con motore a combustione interna, decidendo, in linea con la maggior parte dei paesi avanzati, che la messa al bando delle automobili nuove con motore a combustione interna dovrà avvenire entro il 2035, mentre per i furgoni e i veicoli da trasporto commerciale la data limite sarà il 2040. La notizia ha provocato l'immediata protesta delle associazioni nazionali dei produttori automobilistici che ritengono impraticabili queste tempistiche. ●

11. Infatti l'energia annualmente richiesta in Italia dal settore del trasporto su strada è di 33, 25 Mtep, ovvero 386,7 TWh termici. La metà di questo valore è 193,3 TWh termici. Considerando che il rendimento di un motore a benzina è mediamente del 15% e quello di un motore diesel del 25% e che nel parco sono presenti 2 motori diesel ogni motore a benzina, il rendimento medio risulta del 21,7 %. Ne segue che l'energia meccanica da sostituire è  $193,3 \times 0,217 = 41,95$

TWh meccanici. Tenendo conto delle perdite nella trasmissione e nell'accumulo dell'energia elettrica e del rendimento del motore elettrico si ha che il rendimento complessivo è pari a 0,80. Dunque l'energia elettrica necessaria è  $41,95 / 0,8 = 52,4$  TWh elettrici. Il settore civile richiede oggi 34,5 Mtep che equivalgono a 401,5 TWh termici. Immaginando di sostituire metà di questo fabbisogno con pompe di calore aerotermiche che hanno un SPF (Seasonal Performance Factor -

*Tutto questo un giorno sarà mio? Illustrazioni di studenti su ambiente e salute in aree inquinate a cura di Anna Lisa Alessi, Girolama Biondo, Liliana Cori e Susanna Giorgi. Edizioni ETS, 2021*



È un libro da osservare con attenzione, sfogliando i disegni, le composizioni fotografiche e i plastici realizzati dai ragazzi di 7 istituti comprensivi di Milazzo e Augusta che hanno partecipato a quattro concorsi indetti dal progetto CISAS per composizioni su "Ambiente e salute nella rada di Augusta: una realtà complessa" e "Ambiente e salute nella Valle del Mela: una realtà complessa". La seconda è l'area dove sorge la città di Milazzo. L'età parte dalle elementari alle scuole superiori, con disegni per i più piccoli e composizioni fotografiche per i grandi.

Le parole scritte lasciano spazio alle immagini: le composizioni sono oniriche, ricche di immaginazione e speranze, spesso spaventate, talvolta ironiche sulle capacità dei "grandi" di trasformare un ambiente inquinato promuovendo la salute delle persone e dell'ecosistema. Il disegno con matita, pennarelli e tempera è diretto, senza filtri e può trasmettere emozioni intense e sorprendere. Per i ragazzi più grandi invece è l'organizzazione temporale dei contenuti e composizioni più complesse a consentire di manifestare i propri sentimenti, la denuncia del malessere dovuto all'inquinamento, il sogno di un futuro che porta il cambiamento. La preoccupazione emerge e ci interroga, ci lascia la sensazione di avere davvero molto da fare, per porre rimedio ai danni esistenti e per coinvolgere direttamente quei giovani a unirsi alla schiera dei ricercatori che lavorano nella direzione della prevenzione e della bonifica del territorio.

rapporto tra l'energia termica mediamente fornita e l'energia elettrica consumata) pari a 3, l'energia elettrica necessaria sarebbe  $200,7/3 = 66,9$  TWh elettrici. Un minore fabbisogno si potrebbe avere con l'uso di pompe di calore geotermiche che hanno un SPF di 4,5; si tratta però di una tecnologia al momento poco diffusa perché notevolmente più costosa. Infine l'industria manifatturiera richiede oggi 20,5 Mtep, ovvero 869 PJ. Per coprire con Idrogeno il 15% di questo

fabbisogno, tenendo conto del potere calorifico dell'Idrogeno che è pari a 120 MJ/Kg, servono  $129,1 \text{ PJ} / 120 \text{ MJ} = 1,08$  Mt di idrogeno. Poiché per produrre 1 Kg di idrogeno per elettrolisi servono 50 KWh elettrici, il fabbisogno elettrico per produrne quella quantità è di 53,8 TWh. Se a questi 3 fabbisogni di elettricità si aggiungono gli 85 TWh necessari per sostituire la metà dell'energia elettrica oggi prodotta da impianti termoelettrici si arriva appunto a 258 TWh.

---

## La complessità della negoziazione climatica: la COP26

Yuri Galletti

---

The article takes stock of COP26, analyzing its premises, the very different expectations of observers and the results, some important (among others, the commitments to reduce climate-changing emissions and the agreement between China and the USA), others more disappointing. Ultimately, it can be said with certainty that some progress has been made, but certainly still insufficient to avoid that sudden change of state of the biosphere system which could turn the Earth into a very inhospitable environment.

Keywords: *COP 26 (Conference of the Parties), Climate negotiation*

---

*Stiamo ancora bussando alla porta della catastrofe climatica.*

*È tempo di entrare in modalità di emergenza, o la nostra possibilità di raggiungere lo zero netto sarà di per sé zero*

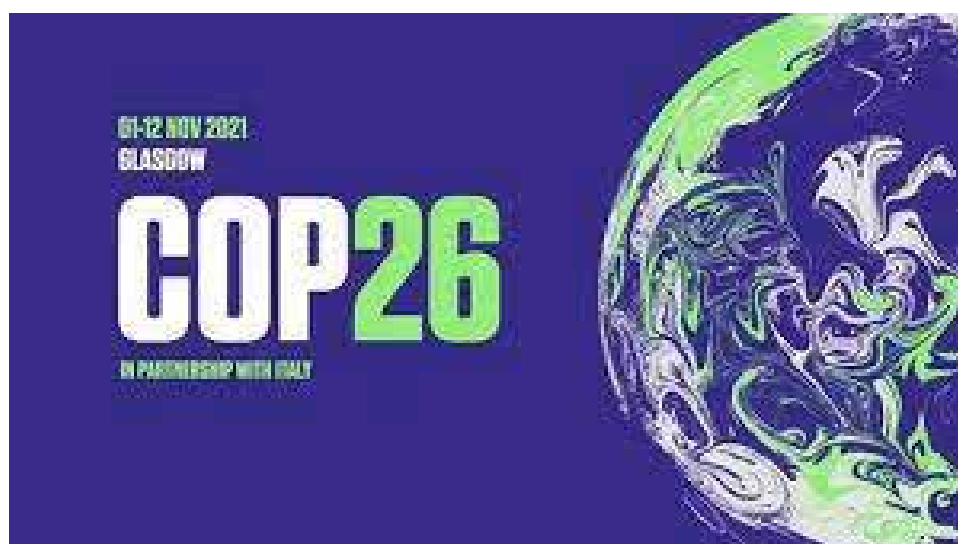
António Guterres, Segretario generale dell'Onu

La ventiseiesima Conferenza delle Parti dell'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), in una sigla COP26, si è tenuta a Glasgow (Scozia) dal 31 ottobre al 12 novembre 2021. È stata presieduta dal governo britannico in partnership con l'Italia, dove a settembre si è svolta, a Milano, la conferenza preparatoria Pre-COP26.

Circa un anno fa il presidente della COP26 Alok Sharma dichiarava: “I passi che stiamo prendendo per ricostruire le nostre economie avranno un profondo impatto sulla sostenibilità, la resilienza e il benessere delle nostre future società e la COP26 può essere un'occasione in cui il mondo si unisce in nome di una ripresa pulita e resiliente”. Ora, ad un mese circa dalla fine della conferenza e a mente fredda, avendo ascoltato centinaia di dichiarazioni e letto decine di articoli sull'argomento cosa possiamo realmente dire?

### Le premesse

Innanzitutto, un evento di negoziazione di questa portata dovrebbe essere considerato come estremamente complesso, in quanto i 197 paesi coinvolti devono necessariamente trovare un accordo o più accordi, ma ognuno di questi presenta le sue criticità, ha le sue priorità politiche, definisce specifiche leggi nazionali spesso molto differenti tra i vari paesi. Inoltre pe-



sano i grandi divari economici tra paesi ricchi e paesi poveri e le disuguaglianze sociali, ancora più accentuate in seguito alla pandemia globale da Covid-19. L'aspetto principale che hanno in comune questi paesi è che si basano tutti fondamentalmente sull'economia degli idrocarburi, da cui deriva la crisi climatica che deve essere risolta a livello globale. Quindi i negoziati sul clima rappresentano oggi uno dei processi multilaterali più complicati della storia dell'umanità.

Una seconda premessa, più di carattere scientifico, riguarda il fatto che il modello economico che ha permesso negli ultimi due secoli lo sviluppo della nostra specie ha sicuramente portato enormi e concreti benefici, ma allo stesso tempo ci ha guidati verso una crisi planetaria dovuta al cambiamento climatico, alle modificazioni irreversibili degli ecosistemi, alla perdita di biodiversità, all'eccessiva urbanizzazione e quindi all'alterazione dei delicati equilibri della biosfera. Occorre ribadire il fatto che gli effetti dell'aumento della concentrazione dei gas serra climalteranti in atmosfera ed il conseguente aumento della temperatura media globale sono molteplici e colpiscono gli ecosistemi, la componente vivente e quella fisica fino ad impattare sul nostro sistema socio-economico perché tutte le componenti della biosfera sono interconnesse e si influenzano. Anche se riuscissimo ad azzerare le emissioni antropiche di gas serra entro il 2050 gli effetti e le conseguenze del cambiamento climatico, già in atto, persisteranno ancora per moltissimi anni.

### Le aspettative

Ogni anno i paesi si ritrovano a discutere di clima e di quali strategie mettere in atto per affrontare la questione climatica. I report scientifici dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), principale organismo internazionale per la valutazione del cambiamento climatico istituito nel 1988, vengono inviati ai decisori politici che

quindi hanno appreso, dall'ultimo documento<sup>1</sup>, che "limitare il riscaldamento globale a 1,5° C rispetto a 2° C, potrebbe andare di pari passo con il raggiungimento di una società più sostenibile ed equa", ma che allo stesso tempo "limitare il riscaldamento globale a 1,5° C richiede cambiamenti rapidi, lungimiranti e senza precedenti in tutti gli aspetti della società". COP26 era vista da molti come un'ultima spiaggia, da altri osservatori come un'opportunità unica di cambio di passo, mentre da altri ancora, più critici, come un'inutile appuntamento di *blablabla*.

### I risultati

Diamo qualche dato. La conferenza è stata la più partecipata di sempre, con circa 40.000 delegati, tra cui quasi 22.000 delegati delle Parti, quasi 12.000 rappresentanti di ONG (organizzazioni non governative), poco più di 1000 rappresentanti dell'ONU (Nazioni Unite) e ha visto la presenza di molti giornalisti (oltre 3000). È stata anche la più seguita di sempre e questo dimostra come ci sia una crescente consapevolezza sul tema anche da parte dei media generalisti e dell'opinione pubblica oltre che da parte delle istituzioni. In sintesi, COP26 aveva quattro obiettivi principali: (1) mitigazione, (2) adattamento, (3) finanza e (4) collaborazione. Il 13 novembre 2021 il patto per il clima di Glasgow (Glasgow Climate Pact) è stato firmato dai 197 paesi partecipanti.

Sono state 50 le decisioni ufficiali<sup>2</sup> prese durante le due settimane di negoziati che hanno permesso di raggiungere alcuni risultati importanti. In primis sono stati approvati i decreti attuativi, tra cui tabelle e formati, che serviranno a formalizzare gli accordi di Parigi del 2015 (COP21) e che saranno applicabili a tutti i paesi entro il 2024. Inoltre sono state approvate le regole sul mercato globale della CO<sub>2</sub> (articolo 6 dell'Accordo di Parigi), con un testo approvato all'unanimità da esperti ed associazioni ambientaliste.

1. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis [www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/](http://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/)

2. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021/outcomes-of-the-glasgow-climate-change-conference>

Un altro importante punto è rappresentato dall'aumento dell'ambizione negli impegni di riduzione delle emissioni climalteranti. È stata ribadita la necessità di contenere l'aumento della temperatura globale entro gli 1,5° C rispetto ai valori pre-industriali, così come suggerito dalla comunità scientifica.

Occorre inoltre evidenziare un fatto importante sulla questione dei combustibili fossili, il cui termine non compariva nemmeno nell'Accordo di Parigi e sembrava essere diventato un vero e proprio tabù. Invece, durante COP26, più di 60 paesi, fra cui molti in via di sviluppo, hanno sottoscritto un documento in cui si impegnano a non costruire nuove centrali a carbone.

130 Stati e numerose istituzioni finanziarie si impegneranno inoltre “per arrestare e invertire la perdita di foreste e il degrado del suolo entro il 2030”. Per raggiungere tale scopo sono stati stanziati 12 miliardi di dollari dai singoli paesi e 7 da società private, tuttavia tale impegno non è vincolante per i governi e quindi non ci sarebbero conseguenze in caso di violazioni.

È stato sicuramente molto importante, dal punto di vista strategico e politico, l'accordo tra Cina e Stati Uniti al fine di collaborare per risolvere insieme la questione climatica. Le due grandi potenze mondiali hanno rinnovato una necessaria e fondamentale collaborazione nella lotta al cambiamento climatico. Occorre evidenziare che i due Paesi sono ai primi due posti della classifica dei principali stati per emissione di CO<sub>2</sub> (anidri-

de carbonica), con oltre 15 miliardi di tonnellate emesse nel 2017. Inoltre, la nuova amministrazione statunitense ha recentemente dichiarato di voler destinare milioni di ettari di suolo alla prospezione di petrolio e gas e la Cina resta il più grande produttore di gas serra a livello mondiale, aumentando ogni anno il suo impatto sul clima, nonostante abbia anche promosso alcune politiche di contrasto al cambiamento climatico. Tuttavia è bene sottolineare che l'accordo è grande passo in avanti, considerando che le relazioni tra i due stati non erano certamente buone. L'impegno non riporta dettagli tecnici, ma è chiaramente una presa di posizione forte che riconosce l'urgenza che merita la crisi climatica, al fine di implementare una stretta cooperazione sulla riduzione delle emissioni di gas serra.

Non è purtroppo stato raggiunto un impegno definitivo per il fondo da 100 miliardi di dollari all'anno per sostenere i paesi più vulnerabili. Questo accordo doveva già essere raggiunto nel 2020, tuttavia la negoziazione è proseguita anche durante COP26 grazie all'impegno messo in campo da parte di istituzioni finanziarie e i paesi partecipanti al fine di aumentare i propri contributi e raggiungere il traguardo dei 100 miliardi il prima possibile.

Per quanto riguarda la tematica, spesso sottovalutata, dell'adattamento al cambiamento climatico si è raggiunta un'intesa sul programma di lavoro relativo al “Global Goal on Adaptation”, finalizzato a definire gli indicatori per monitorare le azioni di adattamento dei Paesi.

È stata infine la COP in cui si è riconosciuto finalmente il fondamentale e determinante lavoro della comunità scientifica, anch'essa chiamata a compiere sforzi senza precedenti in termini di cooperazione e produttività, considerando inoltre che spesso non riceve finanziamenti adeguati a sostenere le proprie ricerche.

L'Emissions Gap Report 2021, promosso dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente UNEP e uscito nell'ottobre del 2020, mostra che i nuovi impegni nazionali sul clima, combinati con altre misure di mitigazione, mettono il mondo sulla buona strada per un aumento della



temperatura globale di 2,7° C entro la fine del secolo. Questo valore è ben al di sopra degli obiettivi dell'accordo di Parigi sul clima e porterebbe a cambiamenti catastrofici nel clima terrestre. Per mantenere il riscaldamento globale al di sotto di 1,5° C in questo secolo, il mondo ha bisogno di dimezzare le emissioni annuali di gas serra nei prossimi otto anni.

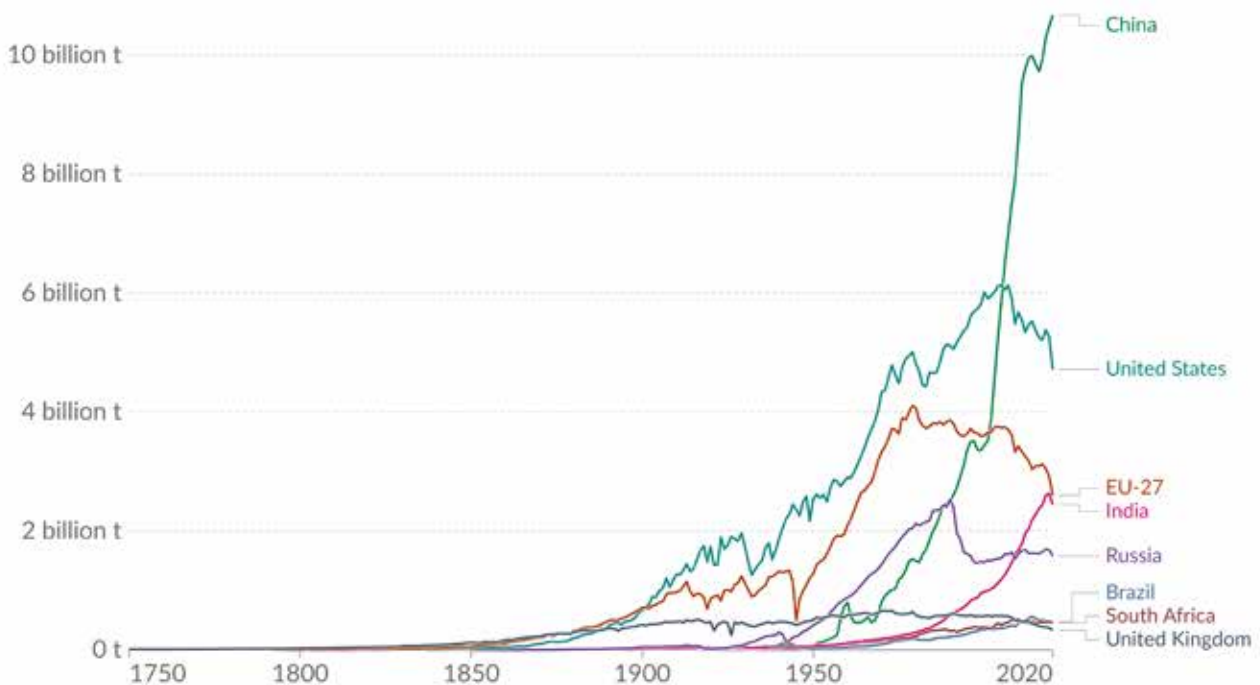
In definitiva, si può affermare con certezza che qualche passo in avanti è stato fatto, ma sicuramente ancora insufficiente per evitare quel repentino cambio di stato del sistema biosfera che potrebbe tramutare la Terra in un ambiente molto inospitale, sicuramente inadatto a sostenere i nostri bisogni. Occorre quindi ancora definire molte strategie d'intervento e continuare sulla

strada dell'azione, continuando a lavorare nella direzione delle neutralità climatica, rafforzando la cooperazione tra stati ed investendo sullo sviluppo sostenibile. Ciò si raggiunge potenziando la ricerca scientifica, l'istruzione e la comunicazione. Questi ambiti sono determinanti per poter affrontare con consapevolezza le grandi criticità globali e la complessità che ne deriva. Infine, è dal mondo delle istituzioni che ci aspettiamo sempre qualcosa in più, sia a livello internazionale quando si tratta di andare a negoziare sia a livello nazionale e locale quando si tratta di individuare azioni concrete volte a promuovere la necessaria transizione ecologica fondamentale per dare un futuro alla nostra specie. ●

## Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World  
in Data



Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Note: CO<sub>2</sub> emissions are measured on a production basis, meaning they do not adjust for emissions embedded in traded goods.

**Emissioni annue di CO<sub>2</sub>.** Fonte: <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?tab=chart>

# uno scatto alla natura

## Loricati vestiti di bianco

foto e testo di Giovanni e Renzo Stimolo



**Pini loricati (*Pinus leucodermis*) coperti dalla galaverna. Parco Nazionale del Pollino, nei pressi della cima di Serra delle Ciavole (Prov. di Cosenza), altitudine 2040 m; 19 dicembre 2021, ore 12:04. Fotocamera: Canon EOS 6D; obiettivo: Canon EF 16-35mm f/4L IS USM @ 16mm f/13 1/125s ISO100, a mano libera.**

La nostra splendida penisola, abbracciata dal mare ed orlata da coste, nel suo entroterra è caratterizzata prevalentemente da montagne, con le Alpi al suo confine con l'Europa e gli Appennini che la percorrono per tutta la sua lunghezza. Ed è proprio percorrendo gli Appennini verso sud, nelle propaggini più meridionali, prima che lo Ionio e il Tirreno si avvicinino fin quasi a toccarsi, che si erge un'alta catena montuosa, con cime che superano i 2.000 metri di quota, con doline dove la neve ancora oggi resiste fino a tarda primavera, che porta con sé testimonianze di antichi ghiacciai, e che, nonostante tutto, conserva ancora una biodiversità ed endemismi di grande importanza e fascino, e che lo rendono un vero gioiello ed uno dei posti più straordinari del patrimonio naturalistico italiano. Stiamo parlando del Massiccio del Pollino, incastonato tra Calabria e Basilicata, e della Dorsale del Pellegrino o Monti di Orsomarso, interamente in territorio calabrese. Intorno a questi due massicci, fu istituito il Parco Nazionale del Pollino, che ad oggi rappresenta il parco nazionale più grande d'Italia. È tra queste montagne, oltre il limite della faggeta, alle quote più alte, che da tempo immemore è possibile ammirare un'autentica rarità! Esemplari pluricentenari di Pino loricato (*Pinus leucodermis*) popolano tutte le creste sferzate dagli elementi più estremi, punteggiano i ripidi ed inaccessibili valloni e si abbarbicano alle dirupate pareti verticali. I pini loricati, un endemismo di queste montagne, sono conifere appartenenti alla famiglia delle Pinaceae e devono il proprio nome alla particolare corteccia spessa e profondamente fessurata, che conferisce al tronco un aspetto che ricorda quello della lorica squamata, un'armatura indossata dai legionari dell'antica Roma. Anche dopo la loro morte, dopo aver

perso completamente la lorica, questi alberi leggendari, sembra continuano a vivere ancora; i loro scheletri argentei, grazie al legno resinoso di cui sono costituiti, resistono fieri ancora per molti anni prima di accasciarsi al suolo definitivamente.

La particolare posizione del Parco Nazionale del Pollino, situato tra due mari, e le sue quote elevate, lo rendono particolarmente suscettibile alla galaverna e alla calabrosa. Sono due fenomeni atmosferici propri dell'inverno, causati dal passaggio delle goccioline d'acqua in sospensione nell'atmosfera da vapore a ghiaccio, quando le temperature sono basse. In particolare, la galaverna si forma in presenza di scarsa ventilazione e dimensioni piccole delle gocce di rugiada e vapore acqueo, ed è aghiforme e fragilissima. Di contro, la calabrosa si sviluppa come una crosta di ghiaccio compatta, bianca e molto aderente, anche in presenza di vento più forte, quando le gocce di acqua sospese nell'atmosfera sono più grosse. Le concrezioni di ghiaccio originate da questi fenomeni, ricoprono spesso, sia le rocce, sia i pini loricati, che si trasformano quindi in imponenti sculture di ghiaccio. L'incredibile elasticità dei rami di queste conifere, permette loro di piegarsi senza spezzarsi sotto il peso del ghiaccio, ed in alcuni casi, i rami più bassi arrivano addirittura a toccare il suolo. ●



**Altre immagini di pini loricati (*Pinus leucodermis*) coperti dalla galaverna o dalla calabrosa fotografati nel Parco Nazionale del Pollino da Giovanni e Renzo Stimolo.**



---

## Sotto le lenti del microscopio.

Parte seconda:  
come nascono gli organismi

Alessandro Minelli

---

The story of microscopic observations begun in the previous issue of the journal continues here. In a crescendo of discoveries, supported by the use of increasingly perfected tools, the microscopic study of cellular structure paves the way for modern cytology. Microscopic observation allows to settle historical disputes concerning fertilization and embryonic development. Keywords: *History of science, Microscopic observations, Microscopic studies*

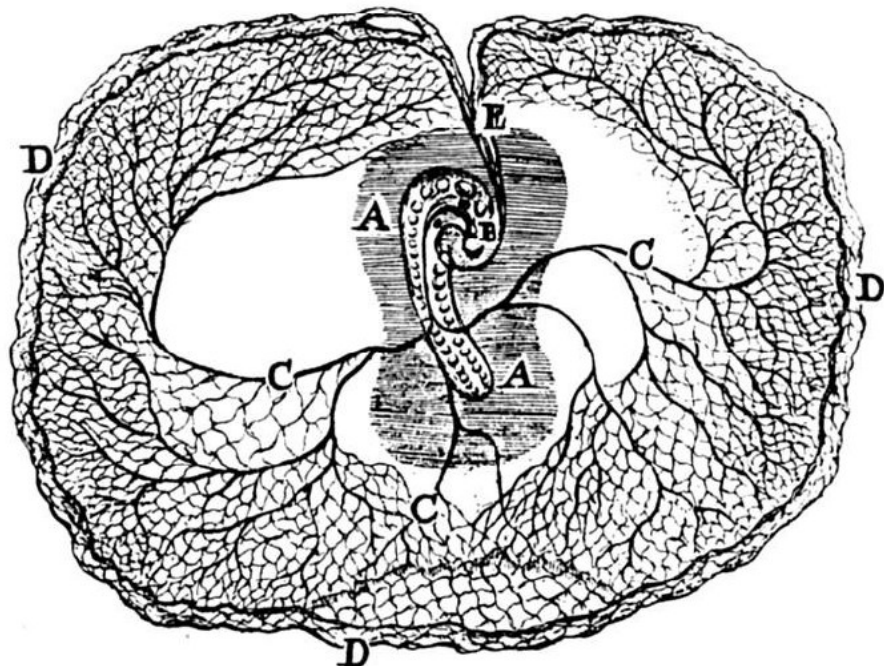
### Le prime tappe della moderna embriologia

È nelle mani di Marcello Malpighi (1628-1694) che il microscopio si rivela per la prima volta strumento indispensabile per gli studi embriologici.

A Malpighi si devono molte scoperte fondamentali di anatomia microscopica, dalla prima osservazione dei “corpuscoli figurati” del sangue, all’individuazione dei capillari nel polmone della rana, allo studio accurato della struttura fine del rene, del polmone e di altri organi. Quando poi applica il suo strumento all’osservazione degli stadi precoci dello sviluppo del pollo, Malpighi descrive per primo la blastula e riconosce il formarsi del sistema nervoso, dell’occhio e di altri organi. È il 1673 quando ne dà notizia nel suo scritto *De formatione pulli in ovo*.

Come molti altri microscopisti del suo tempo, Malpighi concepisce lo sviluppo in termini di preformazione, cioè come dispiegamento e accrescimento di strutture già formate.

La dottrina del preformismo, peraltro, ha radici antiche. Già Anassagora (circa 500-428 a.C.) aveva infatti affermato che nel seme paterno si ritrovano tutte le parti del corpo del figlio. In epoca moderna (1625), Giuseppe degli Aromatari (1587-1660) aveva ripreso questa concezione, affermando



Embrione di pollo al secondo giorno di incubazione (Malpighi 1673)

come nei semi e nei bulbi fosse possibile riconoscere agevolmente le nuove pianticelle, complete di tutti gli organi che poi si ritroveranno nella pianta cresciuta. Generalizzando, egli credeva di poter estendere questa nozione agli animali, le cui strutture sarebbero state preformate nell'uovo.

Le osservazioni microscopiche, che si moltiplicano nella seconda metà del Seicento, sembrano proprio dare ragione al preformismo.

In questo contesto, un significato particolare assume la scoperta degli spermatozoi, che forse va attribuita all'olandese Nicolaas Hartsoeker (1656-1725), abile fabbricatore di strumenti ottici, che avrebbe individuato gli spermatozoi fin dal 1674, ma pubblica le sue osservazioni solo nel 1678; nel frattempo Leeuwenhoek, con una lettera inviata alla Royal Society nell'agosto 1677 e pubblicata nel novembre dello stesso anno, aveva segnalato un'analogia osservazione compiuta in quei mesi da uno studente di nome J. Ham. Comunque sia, lo stesso Leeuwenhoek prese presto interesse all'osservazione degli spermatozoi, che osservò nel liquido seminale di varie specie di mammiferi, uomo compreso.

Hartsoeker raffigurò lo spermatozoo umano come se contenesse, nella sua minuscola testa globosa, un *homunculus* di minuscole dimensioni, ma già completo di tutte le sue parti: lo sviluppo del nuovo individuo consisterebbe semplicemente nel suo accrescimento. Questa di Hartsoeker è dunque un'interpretazione preformista dello sviluppo. Più in particolare, essa potrebbe essere definita un'interpretazione *animalculista*, per distinguerla da quella *ovista* di Malpighi e di altri studiosi. In effetti, in un modello preformista il primo abbozzo del futuro individuo può essere cercato sia nello spermatozoo che nell'uovo. Malpighi, Swammerdam e, più tardi, Antonio Vallisneri (1661-1730) lo identificano nell'uovo, mentre Hartsoeker, Leeuwenhoek, Boerhaave e anche il filosofo Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) credono invece di poterlo riconoscere negli "animalculi spermatici". Per i seguaci del preforma-

zionismo ovista, il seme fornisce solo uno stimolo allo sviluppo dell'embrione, o contribuisce a nutrirlo; gli spermatozoi sono generalmente intesi come minuscoli vermi parassiti o come esseri animati, invisibili a occhio nudo, della stessa sorta di quelli che il microscopio rivela essere presenti in grande numero nelle infusioni. Per gli animalculisti, di contro, l'uovo fornisce solo adeguato nutrimento e una sede conveniente allo sviluppo del germe contenuto nello spermatozoo. L'inclinazione verso l'una oppure l'altra delle due teorie sembra dipendere, più che altro, dalla maggior dimestichezza di ciascuno studioso con l'embriologia e con la microscopia, e quindi con l'osservazione dell'uovo, oppure con l'osservazione sistematica degli *animalcula* che si rinven- gono nelle acque o nel seme.

Ma non tutti sono d'accordo sull'idea che il nuovo individuo sia già presente, preformato, nell'uovo o nel seme. Già Aristotele aveva sostenuto una diversa interpretazione dello sviluppo, che possiamo chiamare epigenetica, secondo la quale i diversi organi che vediamo a poco a poco prendere forma nell'embrione si differenziano progressivamente a partire da una materia inizialmente omogenea. Nel Seicento, un'autorevole difesa di questa concezione dello sviluppo viene pubblicata nel 1651 da William Harvey (1578-1657), nelle *Exercitationes de generatione animalium*.



**Generazioni inscatolate: afide partorisce una figlia nella quale si sta sviluppando la generazione seguente**

Solo un secolo più tardi, però, la visione epigenetica dello sviluppo verrà difesa sulla base di accurate osservazioni microscopiche. Nella sua *Theoria generationis* del 1759, Caspar Friedrich Wolff (1734-1794) prende in esame sia le piante che gli animali. Egli studia innanzitutto la struttura dello stelo delle piante di fava e la polpa del frutto delle mele e delle pere. Osserva così cellule e vasi linfatici, strutture tra le quali non vede alcuna fondamentale differenza, ritenendo che le une e gli altri servano solo alla penetrazione dei succhi nutritivi nelle diverse parti della pianta.

All'apice di ogni gemma le sue lenti individuano un *punctum sive superficies vegetationis* (punto o superficie di accrescimento): non vi osserva (nel cavolo, ad esempio) alcun abbozzo ripiegato, alcuna *pars involuta*, come ci si poteva attendere in base ad una concezione preformista; il *punctum vegetationis* non è che una *vesicula*: una cellula, diciamo oggi.

Nulla suggerisce, nella pianta, l'esistenza di un abbozzo preformato dell'intera struttura che si verrà dispiegando con foglie, fiori e frutti.

Wolff passa quindi a studiare lo sviluppo del pollo e qui non si contenta di constatare la prima comparsa di un segno vitale, nei primi battiti del cuore dell'embrione, ma cerca di indagare nell'organizzazione degli stadi più precoci, in cui il microscopio non gli consente di riconoscere altro se non una massa di sferette ammucciate le une sulle altre: non c'è ancora il minimo abbozzo di cuore, né di vasi, né di sangue. Wolff, del resto, nega si debba postulare l'esistenza di particelle distinte, così piccole da sfuggire ad ogni osservazione attraverso il microscopio.

Contro il preformismo si muove anche John Turberville Needham (1713-1781). Sulla base delle sue osservazioni microscopiche sugli *animalcula* (che comprendono sia gli spermatozoi e i granuli pollinici che i minuscoli organismi presenti nelle infusioni) egli crede di poter dimostrare che questi non derivano tutti da germi presenti nell'aria, come ritengono i preformisti, ma che possano prendere forma, nelle più diverse condizioni ambientali, a partire da non meglio precisati atomi animati.

### Spallanzani

Le esperienze di Needham, secondo le quali in infusioni bollite e conservate in recipienti ermeticamente chiusi possono ancora svilupparsi *animalcula* di vario tipo, sembrano riproporre la validità della dottrina della generazione spontanea. Per Lazzaro Spallanzani (1729-1799), tuttavia, questi pretesi risultati sono più che sospetti. Egli replica pertanto le esperienze del suo avversario, con grande attenzione e rigore, e dimostra che basta un semplice riscaldamento delle infusioni conservate in recipienti ben chiusi, perché in esse non si formino più *animalcula*. Questi, dunque, non prendono origine da atomi o molecole organiche presenti ovunque, come sostiene Needham, ma solo da "uova" o da "semi", cioè da specifici primordi viventi, presenti nell'aria. Anch'essi dunque, come tutti gli organismi, derivano da abbozzi preesistenti, preformati.

Nel debellare il pericoloso rifiorire della dottrina della generazione spontanea, Spallanzani rimaneva così nell'ambito del preformismo. Egli, peraltro, trovò regolarmente questi animalculi spermatici nel liquido seminale di tutti gli animali su cui sperimentò; respinse pertanto l'opinione di Georges-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788), secondo il quale essi si formano solo dopo un lungo soggiorno dello sperma fuori dell'organismo che l'ha prodotto.

### Gli animalletti delle infusioni

Frattanto, uno dei più tradizionali oggetti di osservazione dei microscopisti, l'acqua in cui si sia lasciato macerare qualche vegetale, continua a fornire nuove sorprese. È proprio in quest'epoca, infatti, che entra nell'uso il termine *animalcula infusoria*, o semplicemente *infusoria*, per indicare questi microscopici organismi che si osservano in gran folla nelle infusioni.

Del 1753 è la scoperta delle amebe da parte di Henry Baker (1698-1774), che - colpito dall'incessante mutare di forma di questi protozoi - dà loro l'appropriato nome di *Proteus*.

Le idee dei naturalisti, a riguardo di questi piccoli organismi, sono però assai confuse. È sintomatico, ad esempio, che Linneo ne inquadri un certo

numero in un genere denominato *Chaos* e che ancora nel 1766, nella dodicesima edizione del *Systema naturae*, include in questo genere anche gli *spermatici vermiculi* di Leeuwenhoek.

Ma le cose stanno cambiando. Job Baster (1711-1775) compie osservazioni dettagliate sulle vorticelle; Johann Conrad Eichhorn (1718-1790) scopre gli eliozoi e Marcus Elieser Bloch (1729-1813) dà l'avvio allo studio di *animalcula* che vivono nel corpo di altri esseri viventi, con l'osservazione di "infusori" (probabilmente, le opaline già viste da Leeuwenhoek) nella parte terminale del tubo digerente della rana.

Altro importante studioso dell'epoca è il danese Otto Friedrich Müller (1730-1784), attentissimo osservatore e descrittore di organismi minuscoli, dai piccoli crostacei cladoceri e copepodi delle acque dolci, ai protozoi, ai batteri. Celebri sono rimaste le sue opere *Vermium terrestrium et fluviatilium seu animalium infusorium, helminthicorum et testaceorum, non marinorum, succincta historia* (Breve storia dei vermi terrestri e d'acqua dolce, ovvero degli animali delle infusioni, dei vermi e degli animali con conchiglia, esclusi quelli marini) (1773-1774) e *Animalcula infusoria, fluviatilia et marina* (Animali delle infusioni, d'acqua dolce e marini) (1786). Questi minuscoli esseri, egli scrive, si chiamano infusori *quoad in aqua, particulis substantiae animalis & vegetabilis imprægnata, reperiuntur*: perché si possono trovare in una goccia d'acqua che contenga delle particelle di origine animale o vegetale.

### L'uovo e l'embrione

Nel 1824 Jean-Louis Prévost (1790-1850) e Jean-Baptiste-André Dumas (1800-1884) descrivono la segmentazione dell'uovo di rana, quel processo che, in termini moderni, si può definire come una serie ripetuta di divisioni che trasformano l'uovo fecondato o zigote in un ammasso di cellule, via via più piccole dopo ogni divisione, che prendono il nome di blastomeri. Questo processo rappresenta dunque l'avvio dello sviluppo embrionale, da cui prenderà forma il nuovo individuo. Gli stessi autori confermano la necessità di uno spermatozoo, perché un uovo di rana venga

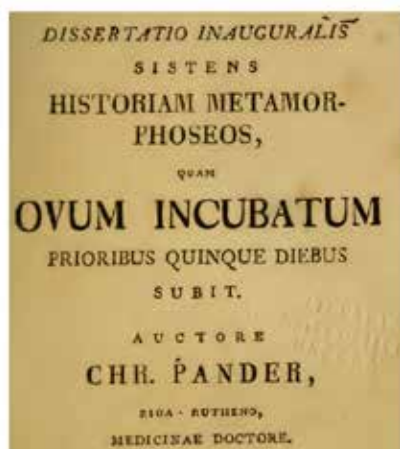
fecondato e dia inizio allo sviluppo di un nuovo individuo.

Nello stesso anno Carl Gustav Carus (1789-1869) osserva per la prima volta i globuli polari, quelle minute cellule che si separano dall'uovo quando questo completa i suoi processi maturativi, a seguito dello stimolo determinato dalla penetrazione dello spermatozoo.

Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) rivolge ancora una volta l'attenzione al più classico fra gli oggetti di studio dell'embriologia, cioè l'uovo di gallina, e vi scopre la cosiddetta vescicola germinale, il grosso nucleo vescicolare del gamete femminile.

Karl Ernst von Baer (1792-1876), uno dei più grandi embriologi di tutti i tempi, affronta invece un oggetto più difficile: le prime tappe dello sviluppo dei mammiferi. Nel 1827 egli identifica per la prima volta la vera cellula uovo in uno di questi animali, il cane. L'anno seguente (1828) von Baer pubblica un importantissimo trattato di embriologia (*Ueber Entwicklungsgeschichte der Thiere. Beobachtung und Reflexion*; Sullo sviluppo embrionale degli animali: osservazioni e riflessioni). Le scoperte di von Baer nel campo dell'embriologia dei mammiferi avranno presto ripercussioni positive sullo studio della nostra stessa specie e nel 1835 Gabriel Gustav Valentin (1810-1883), che l'anno prima ha scoperto il movimento delle ciglia (moto vibratile) degli epitelii ciliati assieme al suo maestro Purkinje, potrà scrivere il primo trattato di embriologia umana.

Una delle più importanti nozioni embriologiche sviluppate da von Baer nelle sue opere è la dottrina dei *foglietti embrionali*, di cui peraltro qualche accenno si trova nel classico saggio di Wolff, ricordato sopra, e soprattutto negli scritti del medico estone Christian Ivanovic Pander (1794-1865), con il quale von Baer ha iniziato i suoi studi. Secondo questa dottrina, lo sviluppo dell'embrione porta ben presto all'individuazione di due o tre "foglietti" (che nel 1845 Robert Remak (1815-1865) interpreterà come strati di cellule), dai quali prenderanno forma, progressivamente, tutte le strutture dell'animale. Remak parlerà così di un foglietto sensoriale esterno, di



### Frontespizio della *Dissertatio* di Pander del 1817

un foglietto trofico interno e di un foglietto vascolare intermedio. Di lì a poco (1853) George James Allman (1812-1898) proporrà di chiamare ectoderma il foglietto esterno, mesoderma quello intermedio, endoderma quello più interno: nomi, questi, che rimarranno in uso fino ai nostri giorni. Nel frattempo, le osservazioni sulla segmentazione dell'uovo si fanno più numerose. Nel 1837, Carl Theodor von Siebold (1804-1885) e Michael Sars (1805-1869) osservano questo fenomeno in diverse specie di invertebrati e in quegli stessi anni, ad opera soprattutto di von Baer, si comincia a sospettare una precisa relazione tra i solchi visibili alla superficie dell'uovo in segmentazione e la suddivisione dell'embrione in un numero crescente di unità strutturali, cioè di cellule.

### La teoria cellulare

La nozione stessa di cellula, a questo punto, deve essere riveduta ed a ciò contribuiscono largamente Robert Brown (1773-1858), Matthias Jacob Schleiden (1804-1881) e, soprattutto, Theodor Schwann (1810-1882).

In effetti, la nozione di cellula era stata utilizzata, fino a quel punto, soprattutto dai botanici, in un senso che in genere si allontanava di poco da quello originario, che deriva dalle osservazioni di Hooke: cellula come compartimento, ben delimitato da pareti visibili sotto le lenti del microscopio e pieno in realtà di quel materiale vivente che non c'era più nelle sottili fette di sughero da lui osservate.

Che questa nozione interessasse poco agli zoologi è comprensibile, se pensiamo che le cellule animali non hanno quelle spesse pareti cellulose di cui sono invece fornite le cellule vegetali. Solo in alcuni casi è possibile, negli animali, percepire distintamente un'organizzazione cellulare. È il caso del tessuto che forma la corda dorsale, il primitivo asse di sostegno dei vertebrati, dei tunicati e dell'anfiosso, come nel 1835 poté osservare Johannes Müller (1801-1858) nei mixinoidei, vertebrati anguilliformi imparentati con le lamprede, ma è anche il caso degli embrioni di molti animali, come la rana o il riccio di mare, che presto o tardi diventeranno gli oggetti di studio e di sperimentazione prediletti dagli embriologi.

Una premessa all'affermarsi di una teoria cellulare viene però adesso (1831) dalla scoperta del nucleo cellulare da parte di Robert Brown, il botanico inglese a cui si devono, tra l'altro, anche le osservazioni sull'agitazione termica delle molecole che è alla base del fenomeno noto appunto come moto browniano.

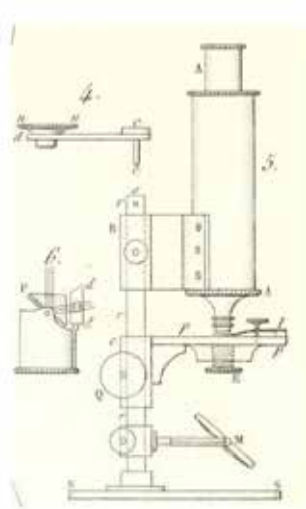
Il definitivo affermarsi della teoria cellulare prende comunque le mosse da osservazioni di carattere embriologico. Ciò vale sia per il botanico Schleiden che per lo zoologo Schwann.

Schleiden, partendo dalle sue osservazioni sullo sviluppo dell'embrione nelle piante superiori, paragona la formazione delle cellule, nelle piante, al processo di formazione dei cristalli: il nucleo rappresenterebbe una sorta di germe di cristallizzazione, attorno al quale una piccola quantità di materiale vivente si organizza a formare un'unità cellulare.

Schwann pubblica nel 1839 le sue *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen* (Ricerche microscopiche sulle corrispondenze tra la struttura e l'accrescimento nelle piante e negli animali). L'opera si apre con una descrizione della struttura e dello sviluppo delle cellule cartilaginee e di quelle della corda dorsale e prosegue con un confronto di queste con le cellule vegetali. Preso come termine di paragone il concetto di cellula sviluppato per le piante da Schleiden, Schwann dimostra come anche nei

particolari tessuti animali da lui presi in considerazione i rapporti fra nucleo, nucleolo, contenuto cellulare e parete cellulare siano gli stessi che nelle piante. Gli resta ora da dimostrare che questo vale per tutti i tessuti animali. La sua argomentazione si sviluppa in maniera indiretta: non potendo infatti dimostrare, con i mezzi dell'istologia del suo tempo, che tutti i tessuti animali, nella loro forma definitiva o adulta, hanno effettivamente la struttura vista nella corda dorsale o nella cartilagine, Schwann mostra come tutti i tessuti *derivino* da cellule che hanno simile organizzazione. In questa argomentazione egli si rifà, naturalmente, all'embriologia e riunisce le osservazioni di von Baer, di Purkinje e di molti altri, interpretando come cellula anche l'uovo, da cui prende avvio lo sviluppo di un nuovo individuo. L'accettazione della teoria cellulare è pressoché immediata. Molti dettagli, peraltro, devono essere ancora precisati.

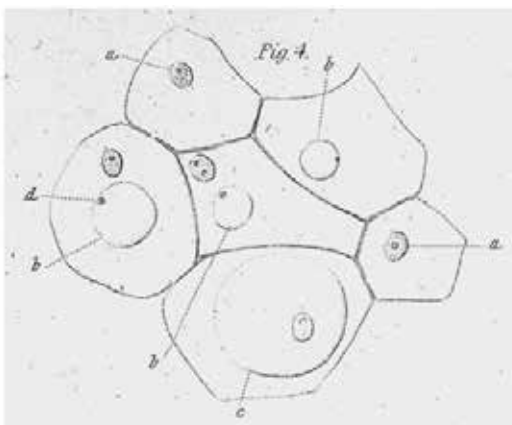
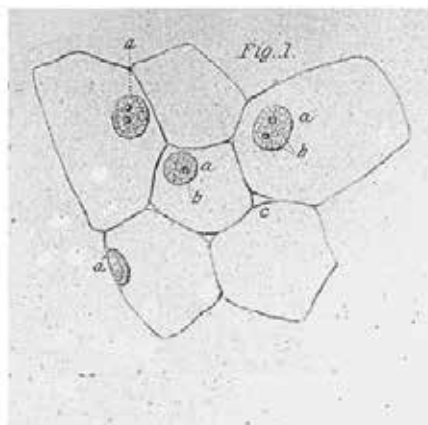
A poco a poco l'attenzione si sposta dalla parete cellulare (dove ce n'è una) al materiale vivente che vi è contenuto, o che può rappresentare la sostanza di una cellula animale, priva di parete: quel materiale che Félix Dujardin (1801-1860) nel 1835 ha chiamato sarcode, con riferimento ai minuscoli organismi come le amebe, che appaiono costituiti da un materiale senza struttura (per la microscopia di allora!), dotato però di tutte le funzioni proprie della materia vivente; quello stesso materiale che Hugo von Mohl (1805-1872) nel 1846 propone invece di chiamare pro-



**Microscopio di Félix Dujardin, *Nouvel manuel complet dell'observateur au microscope* (1842)**

toplasma, introducendo così un termine che avrà molto successo.

Nel 1863 Max Schultze (1825-1874) potrà sintetizzare la nuova visione in una breve definizione: “la cellula è una masserella di protoplasma, provvista di un nucleo”. La “scatola” vuota vista da Hooke ha trovato, finalmente, il suo legittimo contenuto; e con una metonimia fra le più innocue, il contenuto ha ereditato senz'altro il nome del contenitore. Saranno la microscopia e la citochimica successive a dimostrare che tutte le cellule, animali e vegetali, sono circoscritte da una tenue membrana plasmatica, la quale può rimanere nuda, come avviene nelle cellule animali, o rivestirsi di una parete cellulare, come avviene nelle cellule vegetali e nelle ife fungine. ●



**Cellule vegetali (a sinistra) e animali (a destra) a confronto (Schwann 1839)**

---

## Cos'è la biodiversità (e perché ne abbiamo bisogno)\*

Joachim Langeneck

---

“Biodiversity” is a term, coined in 1982, which has enjoyed great success, but which has often been used in a vague or inappropriate way. The article aims to clarify its meaning and importance in relation to the stability and resilience of ecosystems.

Keywords: *Biodiversity, Resilience of ecosystems*

---

### Che cos'è la biodiversità

In un momento in cui, dopo due secoli di industrializzazione sfrenata, siamo costretti finalmente a prendere atto di crisi climatica e ambientale di proporzioni globali, il termine biodiversità si è trovato ad avere una posizione centrale nel discorso politico. Naturalmente, l'estensione al grande pubblico di un concetto nato all'interno della biologia, e più specificamente dell'ecologia, ha portato con sé una serie di interpretazioni spurie e di incomprensioni, e per questo motivo non è inopportuno ripercorrere quale sia il significato del termine, e come mai lo studio e la protezione della biodiversità sono fondamentali per affrontare la crisi ambientale in cui ci troviamo.

Il termine “biodiversità” nasce, come contrazione di “diversità biologica”, nel 1982 ad opera del biologo della conservazione Bruce Wilcox, e negli anni successivi riscuote un generale successo a livello tecnico e divulgativo, fino ad entrare nella politica con il Summit della Terra di Rio de Janeiro del 1992, nel quale vengono delineati i principi della Convenzione per la Diversità Biologica, entrata in vigore un anno più tardi. Secondo la definizione corrente, in realtà poco dissimile dalle prime formulazioni, la biodiversità è “la diversità delle forme di vita a tutti i livelli di organizzazione”. Appare chiaro che questa definizione è di una vaghezza esemplare, e mentre da un punto di vista politico proteggere “la biodiversità” garantisce una protezione il più ampia possibile di qualunque sistema biologico, da



\* Questo articolo rappresenta un tentativo di mettere per iscritto il contenuto di una conferenza tenuta il 13 Dicembre 2021 nell'ambito di un ciclo proposto dal Museo di Storia

Naturale dell'Università di Pisa. La conferenza in questione è disponibile presso il link <https://youtu.be/38piFmu-ggME>. Parimenti, sul canale YouTube del museo sono di-

sponibili (o saranno disponibili nei prossimi mesi) una serie di conferenze relative alla biodiversità dei vertebrati sul territorio toscano.

un punto scientifico risulta di fatto non informativa se non si definisce il livello di organizzazione cui ci si riferisce. In aggiunta, il concetto di “biodiversità” è stato impiegato in maniera inappropriata per parlare di diversità agroalimentare, ossia della diversità delle varietà zootecniche e agricole selezionate dall’essere umano nel corso di millenni di civiltà, contrapposta alla tendenza a prediligere poche varietà molto produttive e alla monocoltura sviluppata nel corso dell’ultimo secolo<sup>1</sup>. Ora, per quanto la critica alle monocolture e all’agricoltura moderna abbia numerosi elementi fondati, la diversità degli organismi di interesse agroalimentare e zootecnico risulta essere, in ultima analisi, una parte minima della diversità originaria di specie selvatiche, selezionata con cura nel corso di letterali secoli per ottenere le caratteristiche desiderate. La lotta per conservare le vecchie varietà di piante coltivate e animali domestici può certamente avere un significato culturale, ma non significa molto dal punto di vista della biodiversità, su cui hanno più effetto le tecniche agricole (uso di strumenti non invasivi, eliminazione di fitofarmaci, pesticidi, antibiotici...) che non le varietà effettivamente coltivate o allevate.

Per quanto i livelli di organizzazione della biodiversità corrispondano di fatto ad un continuum che va dalle molecole (i geni) agli ecosistemi, convenzionalmente si tende ad isolarne tre: il gene e l’ecosistema come punti estremi del continuum, e la specie come punto di mezzo. È abbastanza interessante che pochissimi studi si concentrino sull’individuo come livello di organizzazione, probabilmente per una diffusa tendenza a considerare la sorte di uno specifico individuo come irrilevante rispetto ad un processo evolutivo che riguarda un’intera popolazione<sup>2</sup>. Per contro, lo studio della biodiversità a livello delle specie ha avuto un tale successo che molti

autori hanno iniziato ad utilizzare “biodiversità” come sinonimo di “diversità specifica”. Qualsiasi livello di biodiversità ha la sua origine a livello molecolare, nella forma di mutazioni genetiche, ossia errori di copiatura della sequenza di DNA. Una piccola percentuale di questi errori non viene corretto dai meccanismi molecolari deputati, il che conduce a fissare la mutazione. Con il passare del tempo il numero di mutazioni fissate aumenta, e con esse aumentano le differenze tra due organismi con un antenato comune. Su questo meccanismo di produzione di diversità si innesta la selezione naturale, che screma la diversità genetica, trattenendo solo le varianti compatibili con la vita, con una tendenza a favorire varianti che diano un vantaggio selettivo. Va sottolineato, in questa fase, che non necessariamente un tratto è selettivamente vantaggioso in ogni situazione, e che lo stesso tratto può risultare al tempo stesso vantaggioso da un punto di vista e svantaggioso da un altro. Un esempio classico è rappresentato dalla mutazione puntiforme sul gene che codifica per l’emoglobina che causa l’anemia falciforme; se i portatori della mutazione in omozigosi hanno una vita tendenzialmente più breve e caratterizzata da condizioni patologiche croniche, i portatori in eterozigosi sono paucisintomatici rispetto alla patologia, e per contro risultano resistenti rispetto all’infezione da malaria. In luoghi con un’elevata incidenza della malaria questo ha portato ad un maggior successo riproduttivo (come sopravvivenza a lungo termine dei discendenti) nei portatori della mutazione, e quindi alla selezione di un tratto che in contesti in cui la malaria è poco diffusa o assente risulta di fatto fortemente svantaggioso. La selezione di varianti genetiche è quindi un processo che spesso non ha una chiara direzionalità ed è soggetto a fenomeni stocastici, soprattutto nel caso di popolazioni di piccole dimensioni, che possono alterare le proporzioni

1. Vedi ad esempio <https://fondazione-lowfood.com/it/i-nostri-temi/biodiversita>

2. Fantini F, *La vita è un film?*  
In: *Bravo Brontosauero!* – Per  
Stephen Jay Gould, a cura di  
Civile F, Danesi B, Rossi AM,  
Pisa, Edizioni ETS, 2014.



tra varianti genetiche in maniera indipendente dall'eventuale vantaggio selettivo. In molti casi, peraltro, è impossibile collegare una variabilità genetica ad uno specifico vantaggio selettivo. Quando le mutazioni, e la loro fissazione, dipendono esclusivamente (o principalmente) dal lasso di tempo trascorso dalla separazione tra due linee filetiche si parla di marcatori genetici neutrali. Essendo indipendenti dalla selezione naturale, i marcatori neutrali possono essere utilizzati per ricostruire le relazioni filogenetiche tra organismi; inoltre, la loro diversità all'interno di una popolazione può essere considerata, con un minimo di cautela, alla stregua di un'approssimazione della diversità a livello di geni che vengono espressi in tratti fenotipici oggetto di selezione, e quindi rappresenta un indice indiretto dell'adattabilità di una popolazione rispetto ad alterazioni ambientali.

Quando andiamo a prendere in considerazione l'organizzazione della biodiversità a livello specifico, il primo problema con cui ci scontriamo è la non univocità del concetto di specie. Questo non è solo una conseguenza dell'incapacità di trovare un accordo diffusa nell'accademia, ma un portato di una reale incompatibilità tra la nostra necessità di classificare il mondo in categorie definite e la varietà dei pattern di diversità che troviamo nella natura. Gli stessi organismi possono risultare chiaramente distinti prendendo in considerazione alcuni tratti, completamente identici prendendone in considerazione altri, con tutte le possibili situazioni intermedie. Mentre

con alcuni gruppi di organismi risulta abbastanza semplice stabilire se possano essere considerati alla stregua di specie differenti, soprattutto quando si considerano linee filetiche la cui separazione è relativamente recente, l'integrazione di dati molecolari, morfologici, anatomici, fisiologici, ecologici e riproduttivi può portare a risultati ambigui, e ripercuotersi sulla stima della diversità specifica che osserviamo in un ambiente o in un gruppo di organismi. La diversità specifica non è ugualmente distribuita in tutti gli ambienti, ed è strettamente legata alla diversità ecosistemica; ambedue dipendono in buona parte dalla presenza di specie chiave e specie strutturanti. Una specie chiave è definita come un organismo che ha un effetto su un ambiente molto maggiore rispetto a quanto possa far pensare la sua abbondanza; l'esempio classico è rappresentato dalle stelle di mare del genere *Pisaster* che vivono in ambienti intertidali dell'Oceano Pacifico: con esperimenti di rimozione ed esclusione si è verificato che in assenza di stelle di mare i mitili tendono a formare tappeti monospecifici, impedendo la crescita di altri organismi sessili, mentre la predazione da parte delle stelle di mare permette la colonizzazione da parte di specie che in loro assenza risentono dello svantaggio competitivo rispetto ai mitili<sup>3</sup>. L'influenza da parte delle specie chiave si sviluppa in direzione *top-down*: un organismo al vertice della rete trofica svolge una funzione di controllo sui livelli inferiori. Le specie strutturanti sono invece organismi sessili, fotosintetici o comunque filtratori, in grado di nutrirsi di sostanza organica particolata, che crescendo producono strutture tridimensionali, spesso complesse e stratificate, che diversificano lo spazio disponibile e permettono la colonizzazione da parte di un gran numero di organismi. Sono specie strutturanti numerose piante a portamento arboreo, in cui diversi livelli della chioma, la corteccia,



3. Paine RT, *Food web complexity and species diversity*, American Naturalist, 100: 65-75, 1969.

l'interno del tronco e le radici sono popolate da organismi differenti, ma anche le praterie di fanerogame marine e le strutture costruite da numerosi organismi marini, come madrepore e policheti sedentari. In questo caso il controllo avviene in direzione *bottom-up*, dato che un organismo che si trova ai livelli base della rete trofica (un produttore o un consumatore di particolare) permette lo sviluppo di sistemi complessi e l'esistenza di livelli trofici più alti. Un altro fattore che influisce sulla diversità specifica che osserviamo in un ambiente è rappresentato dalla presenza di fattori di stress: tipicamente si osserva che ambienti stabili, caratterizzati da una limitata variazione (che sia naturale o di origine antropica) nei principali parametri chimico-fisici, tendono ad ospitare un numero di specie molto maggiore rispetto ad ambienti in cui si osservano forti variazioni in uno o più parametri, che permettono la sopravvivenza di relativamente poche specie che mostrano una forte tolleranza ambientale.

I parametri chimico-fisici, gli eventi geologici e l'interazione con specie chiave e specie strutturanti portano ad una distribuzione fortemente disuguale della diversità specifica a livello geografico. I cosiddetti *hot spot* di biodiversità, caratterizzati dalla compresenza di un elevatissimo numero di specie su un'estensione geografica relativamente limitata, sono localizzati principalmente in aree tropicali ed equatoriali. La loro presenza è legata a sua volta ad una forte variabilità locale, e quindi alla presenza di numerosi ambienti differenti all'interno dello stesso ecosistema, a breve distanza gli uni dagli altri. La stratificazione tra ambienti diversi all'interno di un ecosistema può essere orizzontale (pensiamo, ad esempio, alla successione che dalla spiaggia porta al bosco costiero passando per la duna e per l'ambiente palustre di retroduna), ma una stratificazione verticale risulta ancora più efficace nell'aumentare la diversità specifica su una piccola superficie. Un esempio classico può essere relativo alla successione di comunità a livelli diversi di una foresta pluviale, ma anche una scogliera che scende rapidamente verso il fondale su una costa rocciosa può presentare un'analogia si-

tuazione di compresenza di diversi ambienti, caratterizzati dalla presenza di comunità differenti, su un'estensione spaziale limitata. Su una scala più ampia, gli *hot spot* di biodiversità sono anche il risultato di processi di diversificazione guidati da eventi geologici: il bacino mediterraneo non si trova nella regione equatoriale, ma viene considerato, e a buon titolo, un *hot spot* di biodiversità, sia a livello terrestre, sia a livello marino. La comparsa di un *hot spot* di biodiversità in un'area temperata è legato a più fattori, ma nel caso del Mediterraneo, il principale è rappresentato dall'alternanza tra fasi glaciali e fasi interglaciali. A livello terrestre, durante le fasi glaciali gli organismi sono stati spinti verso la parte meridionale del continente, trovandosi isolati nelle tre penisole (iberica, italica e balcanica), dove sono andati incontro a fenomeni evolutivi indipendenti che ne hanno favorito il differenziamento. A livello marino, durante le fasi glaciali si è verificato l'ingresso attraverso Gibilterra di specie settentrionali o lusitaniche, mentre durante le fasi interglaciali sono entrate specie meridionali o senegalesi. Ad ogni ciclo una parte di queste specie rimaneva nel Mediterraneo, adattandosi a condizioni ambientali differenti da quelle originarie e talora andando incontro a veri e propri meccanismi di speciazione, che hanno condotto alla compresenza di specie originarie dell'Atlantico temperato e specie dell'Atlantico tropicale.

### **Perché abbiamo bisogno della biodiversità**

La biodiversità, cioè la variabilità intrinseca nei sistemi viventi, rappresenta il motore primo dei processi evolutivi: la comparsa di forme di vita nuove, con caratteristiche differenti da quelle dei loro antenati, sarebbe impossibile se non vi fosse la possibilità di variazioni casuali, su cui intervengono i meccanismi di selezione naturale. La variabilità di un sistema vivente (che si tratti di una cellula o un ecosistema) rappresenta un buon indicatore della sua capacità di sopravvivere a fenomeni traumatici e della sua capacità di recupero in caso di alterazioni. Alla luce del ruolo che hanno gli ecosistemi naturali nel garantire la possibilità di vivere agli organismi (noi compresi), la

loro resilienza è tutt'altro che un elemento negligenza. Alcuni fenomeni di risposta alle alterazioni rendono tuttavia complessa la valutazione della resilienza di un sistema. Soprattutto nel caso di ambienti dominati da specie strutturanti, la capacità di recupero di un sistema non mostra una correlazione lineare con l'entità del danno cui viene sottoposto; piuttosto, si ha una graduale, lenta diminuzione della capacità di recupero (misurata come tempo necessario a ritornare alla situazione ottimale) fino a un *tipping point* in cui il sistema si trova improvvisamente sbilanciato verso uno stato stabile alternativo, in cui la specie strutturante risulta praticamente scomparsa, e sostituita da organismi caratterizzati da ciclo vitale più rapido e struttura tridimensionale semplificata, che ospitano popolamenti molto meno diversificati<sup>4</sup>. Un altro fenomeno non lineare è rappresentato dalle proprietà emergenti, ossia proprietà che due o più elementi non hanno ma che si sviluppano in maniera non prevedibile sulla base delle loro caratteristiche a partire dalla loro interazione. La comparsa di proprietà emergenti è un fenomeno diffuso nei sistemi naturali, a partire dal livello cellulare, ed è particolarmente evidente nel caso di interazioni tra specie strutturanti. Negli ultimi anni una parte significativa della ricerca in ecologia si è concentrata sullo studio delle cascate di facilitazione, processi che coinvolgono due o più specie strutturali e conducono ad un incremento significativo della biodiversità in un'area limitata<sup>5</sup>. Una specie strutturante funge da basibionte, offrendo un substrato per la crescita di uno, o più, epibionti. La presenza degli epibionti, a sua volta, permette la presenza di una notevole varietà di organismi. In uno studio recentemente effettuato nell'area di Livorno, ad esempio,

abbiamo messo in evidenza la presenza di una cascata di facilitazione che parte da due alghe rosse, *Halopithys incurva* e *Jania rubra*. *Halopithys* è un'alga arborescente alta tra 5 e 20 cm e rappresenta il basibionte, che viene colonizzato da *Jania*, una corallinacea articolata. La relazione tra le due alghe è chiaramente mutualistica: i talli di *Halopithys* più superficiali, se sottoposti ad una rimozione dell'epibionte, mostrano un crollo nell'efficienza fotosintetica, suggerendo che *Jania* schermi i fotosistemi di *Halopithys*, permettendole di colonizzare ambienti superficiali. Un altro contributo da parte di *Jania* può essere rappresentato dalla presenza di pareti calcaree, che la rendono poco palatabile per la maggior parte dei consumatori, e contribuiscono a proteggere anche il basibionte. Per contro, i talli di *Jania* risultano molto più voluminosi su *Halopithys* che non su un substrato roccioso; questo è verosimilmente legato alla maggiore disponibilità di luce e all'assenza di competizione per lo spazio con altre alghe. L'associazione tra *Jania* e *Halopithys* a sua volta permette lo sviluppo di una comunità molto più diversificata di quella che si sviluppa in presenza di una sola delle due specie, grazie allo sviluppo verticale di *Halopithys* e alle sottili fronde ramificate di *Jania*, che funzionano come delle trappole per il sedimento in sospensione, permettendo la presenza di una ricca comunità di detritivori<sup>6</sup>. Nello studio di fenomeni in cui la relazione tra organismi non è guidata da processi lineari, è evidente che prevedere come un sistema reagirà ad eventuali perturbazioni è tutto tranne che semplice.

Un ulteriore elemento tipico di un sistema in buone condizioni è rappresentato dalla ridondanza funzionale. Come già accennato in precedenza,

4. Rindi L, Dal Bello M, Benedetti-Cecchi L, *Experimental evidence of spatial signatures of approaching regime shifts in macroalgal canopies*, Ecology, 99: 1709-1715, 2018.

5. Thomsen M, Altieri A, Angelini C, Bishop M, Bulleri F,

Farhan R, Fruling V, Gribben P, Harrison S, He Q, Klinghardt M, Langeneck J, Lanham B, Mondardini L, Mulders Y, Oleksyn S, Ramus A, Schiel D, Schneider T, Siciliano A, Silliman B, Smale D, South P, Wernberg T, Zhang YS, Zotz G, *Heterogeneity within and*

*among co-occurring foundation species increases biodiversity*, Nature Communications, 13: 581, 2022.

6. Ravaglioli C, Langeneck J, Capocchi A, Castelli A, Fontanini D, Gribben P, Bulleri F, *Positive cascading effects*

*of epiphytes enhance the persistence of a habitat-forming macroalga and the biodiversity of the associated invertebrate community under increasing stress*, Journal of Ecology, 109: 1078-1093, 2021.

in un ambiente stabile troviamo tendenzialmente numerose specie, anche molto simili tra di loro, mentre in un ambiente soggetto a stress, naturale o artificiale che sia, ne troviamo poche, e filogeneticamente piuttosto distanti. Ora, salvo eccezioni, l'assunto di Darwin secondo cui più due organismi sono strettamente imparentati, più saranno vicini a livello ecologico risulta tendenzialmente vero – ossia, in linea generale la diversità filogenetica è una buona approssimazione della diversità funzionale. Un ambiente stabile e un ambiente stressato avranno simili livelli di diversità filogenetica e quindi di diversità funzionale, a fronte di livelli di diversità specifica profondamente differenti, e questo può aprire a domande, soprattutto alla luce dell'ormai abusato principio di esclusione competitiva, secondo cui due specie che sfruttano la medesima risorsa tenderanno a competere fino al punto in cui una delle due porterà ad estinzione l'altra. Discutere come mai questo non accada, ma in qualche modo si mantenga un equilibrio tra diversi organismi che usano le medesime risorse, è interessante, ma al di fuori dell'obiettivo di questo intervento. Il punto su cui vorrei invece porre l'accento è che la ridondanza funzionale – che deriva dalla coesistenza di più organismi che utilizzano le stesse risorse trofiche e/o spaziali – svolge un ruolo di “*backup*” nei confronti delle funzioni ecologiche: se una delle specie che svolgono una specifica funzione, sfruttando una risorsa e/o rappresentandola esse stesse per altre specie, vengono a mancare in conseguenza di un evento stocastico, l'ambiente ospita altre specie che, dopo un iniziale momento di squilibrio, andranno a sostituirla, ristabilendo la funzione ecologica perduta. In questo modo, il funzionamento del sistema non dipende strettamente dall'esistenza o abbondanza di una specie in particolare. Viceversa, se lo stesso fenomeno avviene in un ambiente stressato, che ospita poche specie che si sovrappongono pochissimo o per niente a livello di nicchia ecologica, è necessario attendere una colonizzazione della specie perduta, o di una simile, per ristabilire la funzione ecologica che si è persa. La ridondanza funzionale degli organismi, quindi, da un

lato dipende dalla stabilità degli ecosistemi, ma dall'altro *contribuisce essa stessa* alla loro stabilità, permettendo di tamponare in breve tempo eventi traumatici.

Un sistema in cui, per contro, lo stress ambientale giunge al punto di eliminare del tutto una funzione ecologica risulta particolarmente sensibile nei confronti di ulteriori alterazioni ambientali. Uno degli esempi più chiari di questo processo è rappresentato dalle alterazioni causate negli ecosistemi marini dalla pesca eccessiva, o sovrappesca. Il prelievo eccessivo non ha lo stesso impatto su tutti gli organismi marini, ma ha conseguenze diverse a seconda delle caratteristiche del ciclo vitale degli organismi in questione. Organismi a strategia ecogenetica K, caratterizzati da grandi dimensioni, un lungo ciclo vitale e una fecondità relativamente bassa, spesso associata a cure parentali, sono sicuramente più sensibili al prelievo commerciale rispetto a organismi a strategia ecogenetica r, di piccole dimensioni, con brevi cicli vitali e riproduzione caratterizzata dalla produzione di enormi quantità di uova che non sono oggetto di cure parentali. I grandi predatori oceanici, come squali, cetacei, uccelli e tartarughe marine, ricadono vistosamente nella prima categoria: il prelievo degli ultimi due secoli è stato tale da superare l'effetto della riproduzione, causando una fortissima riduzione delle popolazioni di queste specie. Al momento pochissime specie si sono realmente estinte, ma praticamente tutti i grandi predatori marini sono rappresentati da popolazioni così ridotte da non avere praticamente più un reale ruolo ecologico. I flussi di energia negli ambienti oceanici si sono conseguentemente trovati ad essere dominati da organismi ben differenti, presenti con numeri enormi, e in grado di resistere alla pressione da sovrappesca grazie ai loro cicli vitali brevissimi, come meduse e sardine. Il problema con questi organismi è che, se sopportano il prelievo antropico, sono per contro estremamente sensibili nei confronti delle alterazioni climatiche, e questo proprio a causa dei loro cicli vitali brevissimi. Una specie K-stratega, con cicli vitali pluriennali, risente abbastanza poco di un anno in cui il successo riproduttivo

è limitatissimo, perché avrà la possibilità di farlo in eventuali anni successivi; per contro, per una specie con ciclo vitale annuale o biennale, un anno sfavorevole per la riproduzione rappresenta sostanzialmente la perdita dell'unica occasione riproduttiva di un'intera generazione, con un conseguente crollo demografico negli anni successivi. Le specie più resistenti rispetto alla sovrappesca sono proprio piccole specie che si nutrono di plancton, e dipendono strettamente dall'abbondanza delle loro prede, che a sua volta tende ad essere fortemente ridotta da temperature troppo alte, che sono sempre più frequenti negli ultimi anni in conseguenza del riscaldamento globale. Mentre una sola pressione antropica (la sovrappesca o il riscaldamento globale) potrebbe sembrare sopportabile dagli ecosistemi marini, la loro sinergia rischia quindi di condurre a un vero e proprio collasso ecosistemico<sup>7</sup>.

Un ecosistema perturbato, oltre ad essere più fragile rispetto ad ulteriori minacce, è caratterizzato da una forte riduzione dei servizi ecosistemici che offre alla specie umana. I servizi ecosistemici spaziano da elementi strettamente necessari per la nostra sopravvivenza come specie (ossigeno e acqua potabile, per dire solo i più importanti), a risorse che migliorano la nostra vita e ci permettono di vivere in contesti ostili (le risorse ittiche, le piante spontanee, ma anche numerosi microorganismi che supportano le nostre coltivazioni), fino ad elementi apparentemente non fondamentali, ma senza i quali la nostra vita sarebbe molto insoddisfacente: la possibilità di fare una passeggiata lungo una spiaggia respirando l'aria di mare è un servizio ecosistemico; la possibilità di passare un weekend a camminare in montagna, staccando dalle nostre preoccupazioni quotidiane e dal nostro lavoro è un servizio ecosistemico. Numerosi studi hanno tentato una stima quantitativa del valore monetario dei servizi ecosistemici, ma le stime sono viziate da un'enorme incertezza

e non particolarmente utili, dato che il grosso di questi servizi non sono sostituibili, non abbiamo la possibilità di andare ad acquistarli da un'altra civiltà in caso vengano meno. L'entità e la qualità dei servizi che ci può offrire un ecosistema dipendono strettamente dalla sua stabilità e dalla sua capacità di recupero, che a loro volta sono strettamente interconnesse con la sua biodiversità. La qualità della nostra vita dipende dal mantenimento della diversità dei sistemi biologici: è per questo – non per un'etica disincarnata o per senso di giustizia – che dobbiamo salvaguardare la biodiversità. ●

**Fabio Fantini**

***Due passi (con prudenza) dentro l'ecologia.  
Come masticare un po' di ecologia senza  
rischiare danni da soffocamento***

ETS 2021, collana Finestre, Libri di *Naturalmente scienza*



Uno slittamento semantico apparentemente inarrestabile ha interessato negli ultimi decenni il termine "ecologia". È ormai nell'uso comune indicare come "ecologia" la sensibilità verso le problematiche ambientali, anziché lo studio scientifico delle interazioni degli organismi tra loro e con l'ambiente. Questo libretto cerca di ricordare che l'ecologia è un complesso di conoscenze scientifiche articolate, non una sorta di galateo sociale o magari un elenco di prescrizioni etiche. Lo fa con un linguaggio informale e diretto, guidando il lettore attraverso le idee portanti del pensiero ecologico senza rinunciare ad alcune considerazioni quantitative, che nei passaggi più dettagliati sono rimandate alle note di fine capitolo. Una visione del mondo in termini globali, fondata su un sistema collaudato di conoscenze scientifiche, dovrebbe portarci a considerare con lungimiranza la dinamica tra consumo e rinnovo delle risorse. Le condizioni ambientali che ora garantiscono la sopravvivenza di quasi otto miliardi di umani non sono un dato di fatto immutabile: un'avveduta consapevolezza di come agire perché esse si mantengano il più a lungo possibile costituisce un auspicabile criterio per programmare il nostro futuro. È qui che l'ecologia ha qualcosa da dire.

7. Rossi S, *Historical ecology, understanding the actual panorama using past scenarios*, *Biologia Marina Mediterranea*, 26: 203-211, 2019.

## La doppia crisi. Ambiente e società al tempo del Covid19

a cura di Oreste Giorgetti  
ETS, Pisa 2021



*La doppia crisi. Ambiente e società al tempo del Covid-19*, edito da ETS di Pisa e curato da Oreste Giorgetti, ci racconta grazie al contributo di più saggi, che siamo di fronte a più crisi, che queste sono arrivate ormai da molto tempo e sono ampiamente conosciute, che tra queste figurano una nuova forma di pandemia con i conseguenti e negativi risvolti sociali, anche a causa di una gestione mediatica che ha ampliato incertezze, paure, solitudini, disagi psicologici, conformismo, obbedienza, discriminazioni. Necessariamente ci si interroga sulle conseguenze delle misure adottate da autorità e governi per cercare di fronteggiare la crisi, dalle azioni per la transizione ecologica alle politiche di vaccinazione, sui legami diretti e indiretti con il controllo sociale da parte di una egemonia che plasma le coscienze. In merito a conformismo e obbedienza, Tullio Seppilli, il fondatore dell'Antropologia medica italiana, scrisse nel secolo scorso: "Proporrei di intendere per conformismo una adesione, profonda o anche solo formale ma comunque priva di atteggiamenti critici e di comportamenti devianti, nei confronti del sistema di "regole" vigente in un certo contesto sociale.", e poi ancora "E proporrei di intendere per obbedienza la accettazione acritica ed esplicita delle direttive comportamentali provenienti da persone o istituzioni ritenute gerarchicamente "superiori" e, perciò stesso, legittimate a decidere e a comandare "per tutti". Riflessioni sempre valide, da contestualizzare nel contesto della fase in corso: il *kairòs* di un mondo preso nella morsa di un'emergenza pandemica globale. Ci si interroga su come le forme di 'obbedienza' si modulino in questo caso nell'adesione convinta alla responsabilità

condivisa tra i simili, situata all'incrocio tra direttive sanitarie e reciproca protezione. Si può rintracciare l'inizio della crisi ambientale a partire dalla rivoluzione industriale quando l'uomo ha cominciato a predare – e preda tuttora – la Terra che lo ospita. Le risorse naturali e i beni comuni sono stati progressivamente danneggiati ed erosi a favore di gruppi umani ristretti e ai danni di tutti gli altri organismi e degli ecosistemi. I diversi tipi di inquinamento hanno ridotto la biodiversità, hanno danneggiato l'ambiente, i territori, il clima, la salute umana e animale, e impegnano ad una riflessione profonda sulla crisi umana alla base di questo processo degenerativo. L'allontanamento dell'essere umano dal corretto rapporto con la natura ha fatto perdere di vista l'unitarietà con la natura generatrice, ha alterato la formazione della consapevolezza sull'importanza dei beni materiali e immateriali e quindi sull'importanza dei fondamenti della vita. Il paradigma della crescita illimitata, nonostante lo sviluppo di una conoscenza scientifica critica, continua ad essere la direttrice dello sviluppo delle élite dominanti, ma è anche in tensione con le nuove soggettività espresse dai giovani preoccupati per il futuro. Per l'insieme di questi motivi ci si interroga sull'uso e l'applicazione della tecnologia e del rapporto con la scienza, sulla portata delle discipline giuridiche, filosofiche e sociali, in sostanza sul rapporto tra fatti e valori, sui benefici ricevuti e sui prezzi pagati. Da punti di vista diversi ci si chiede come mettere un limite al delirio di onnipotenza di una parte dell'umanità, come gestire l'incertezza e imparare a decidere sulla base delle conoscenze che abbiamo, che sono costantemente in crescita.

E Infine non si può non riflettere sull'economia guidata da un'aristocrazia finanziaria che, dopo aver superato il capitalismo tradizionale, fagocita tutti i settori chiave dello sviluppo quantitativo, dall'energia alle armi, dalla farmaceutica fino all'istruzione, impoverendo la maggioranza della popolazione e aumentando le diseguità in misura tale da porre in dubbio le possibilità di una gestione futura dei conflitti. In questa situazione, una visione unitaria, olistica, per una salute globale - *One Health*, è la speranza ma anche un'urgenza per il genere umano e per gli ambienti nel senso più ampio possibile.

Ecco così che dai saggi contenuti nel libro nascono nuovi e necessari contributi per interrogarci ancora, non diversamente da Socrate, farsi le domande giuste per poi argomentare nel rinnovarsi della dialettica e poi decidere - evitando fiducie cieche e individualismi neoliberisti.

---

## Insetti pronubi nella crisi climatica

Piero Sagnibene

---

The vast majority of terrestrial ecosystems and agricultural activities that provide basic nourishment to human populations are based on the activity of pollinating insects. The climate crisis, which adds up to the toxic environmental crisis that insists on agriculture, causes a serious decline in pollinating insects - farmed bees and wild pollinating insects. Climate change modifies plant-pollinator interactions, causes displacement of invasive species, compromises nectar production causing, overall, a serious "pollination crisis".

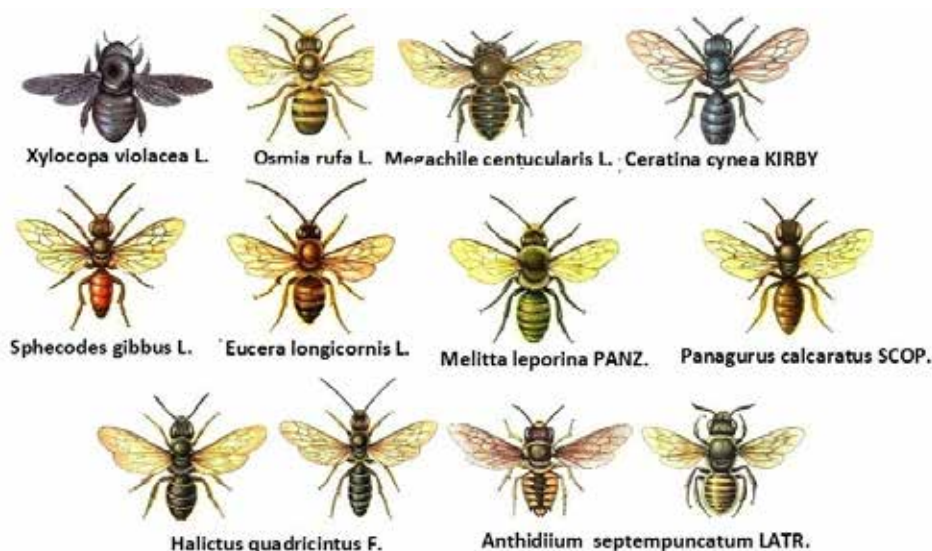
Keywords: *Climate crisis, Pollinating insects*

---

La notizia è davvero preoccupante: un recente rapporto della IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) prevede un aumento della temperatura di 3,2°C. Insieme agli altri disastri che provoca l'aumento anomalo della temperatura, ciò significa che il 50% degli insetti potrebbe estinguersi entro il 2100, ma l'estinzione, di fatto, è già iniziata.

La notizia è preoccupante perché sulla attività degli insetti pronubi si regge la stragrande maggioranza degli ecosistemi terrestri e delle attività agricole che forniscono il nutrimento di base alle popolazioni umane. Oltre il 75% delle principali colture agrarie e circa il 90% delle piante spontanee da fiore dipendono dalla impollinazione operata dagli insetti pronubi; consentendo a tantissime piante di riprodursi, l'impollinazione è la base fondamentale dell'ecologia delle specie e del funzionamento degli ecosistemi, della conservazione degli habitat e della fornitura di una vasta gamma di importanti benefici per l'uomo, inclusa la produzione di alimenti, fibre, legname e altri prodotti.

Per dirla in cifre, l'apporto della sola impollinazione animale è stimato in circa 153 miliardi di dollari, dei quali circa 26 nella sola Europa e circa 3 in Italia. La produzione agricola mondiale, direttamente dipendente dalla impollinazione, rappresenta un valore economico stimato tra 235 e 577 miliardi di dollari, ma le relazioni pianta-impollinatore sono un servizio ecosistemico essenziale di valore difficilmente calcolabile. Nella sola Europa le api e gli insetti pronubi selvatici sostengono la produzione agricola di almeno 150 colture (84% delle coltivazioni del continente).

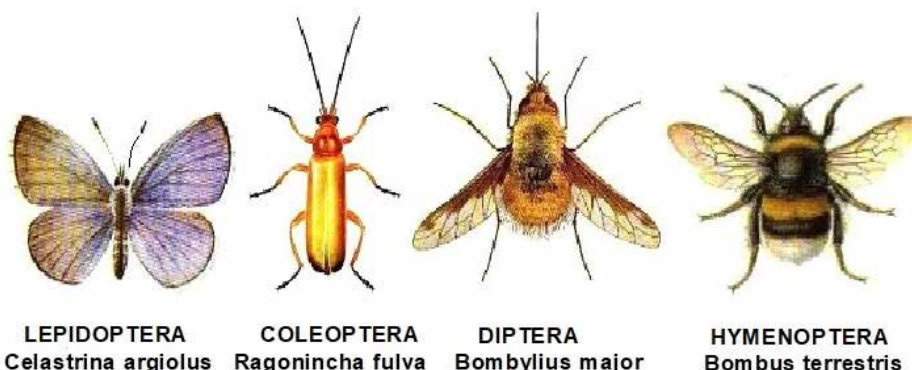


Gli insetti pronubi sono i vettori del materiale genetico, trasportano il polline da un fiore all'altro e consentono, con l'impollinazione, la fecondazione incrociata e la conseguente formazione del frutto e dei semi. Moltissime piante sono dioiche

(cioè individui diversi con fiori, o maschili, oppure femminili), altre sono monoiche (portano nel fiore entrambi i sessi però non possono auto-fecondarsi); in entrambi i casi l'impollinazione è indispensabile, poiché tutte richiedono fecondazione incrociata tra individui diversi della stessa specie. L'ape mellifera, che è allevata da millenni dall'uomo, è in grado di provvedere alle necessità di impollinazione di numerose colture; sono tuttavia i pronubi selvatici, quali bombi, api solitarie e ditteri sirfidi, a risultare, nel complesso, gli impollinatori più efficienti. Le api selvatiche, ad esempio, spesso compensano la scomparsa delle api mellifere; la sola Europa ne ospita oltre 2.500 specie.

### **Crisi ambientale e crisi climatica**

La crisi climatica interviene e si somma, potenziandola, alla crisi ambientale tossica che insiste sull'agricoltura e sulla nostra alimentazione. Moltissimi frutteti e campi coltivati sono diventati ambienti venefici ed inospitali, veri campi di annientamento per le api e per gli insetti pronubi selvatici, sebbene gli insetticidi risultino, nel tempo, sempre meno efficaci contro i parassiti. Molte piante spontanee, che ospitano l'entomofauna selvatica, sono eliminate dagli erbicidi, altre non possono riprodursi a causa della scomparsa degli insetti impollinatori, falciati dall'uso improprio e massivo di agrochimici (biocidi ed insetticidi); a ciò si aggiungono il deterioramento delle reti e delle interazioni pianta-impollinatore, la frammentazione dell'habitat, i cambiamenti nell'uso del suolo, le moderne pratiche agricole. Sulla gravità della "crisi di impollinazione, per spiegarci con un esempio semplice, il rapido calo



del numero di api mellifere, che si sta verificando anche in tutte le altre famiglie di insetti pronubi, rende scarsamente produttive le colture, ed ha spinto diversi agricoltori al ricorso alle api gestite dall'uomo. Diversi apicoltori si sono specializzati per fornire un servizio di impollinazione, portando un certo numero di arnie, nei frutteti o nei campi, per il periodo della fioritura. Mediamente una colonia di api può comprendere da 30.000 a 100.000 individui; solitamente ne sopravvive soltanto un decimo a causa della tossicità ambientale dovuta agli agrochimici diffusi sulle colture.

La crisi climatica devasta in maniera letale gli equilibri naturali; la temperatura media del nostro pianeta si sta innalzando a seguito dell'effetto serra causato, a sua volta, dall'aumentata immissione in atmosfera di gas, principalmente CO<sub>2</sub>, connessa con le svariate attività umane (traffico, industria, agricoltura, riscaldamento). Siamo "tagliando il ramo sul quale siamo seduti sull'albero della vita", per usare una immagine popolare: siamo noi che stiamo provocando la distruzione delle benefiche popolazioni di insetti che finora, ci hanno permesso di nutrirci consentendo alle nostre piante di fruttificare e di riprodursi.

La gravità del declino degli insetti impollinatori, api allevate ed insetti spontanei, dovuta all'insieme delle pressioni ambientali, è documentata da un recente rapporto dell'IPBES, (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), la massima autorità scientifica mondiale in tema di biodiversità. La distruzione della biodiversità degli insetti pronubi e delle api porta il rischio, concreto ed immediato, della perdita delle più diffuse colture che



dipendono, in grandissima parte o interamente, dalla l'impollinazione entomofila (melo, arancio, pero, pesco, limone, fragola, lampone, susino, albicocco, ciliegio, mango, ribes, mandorlo, pesco, kaki, castagno, lampone, fragola, mirtillo, mora, noce, castagno, pomodoro, carota, patata, cipolla, peperone, fava, fagiolo, zuccina, zucca, cetriolo, cavolo, rapa, cipolla, aglio, melone, cocomero, melanzana, erba medica, trifoglio, veccia, fava, lupinella, sulla, meliloto, colza, ravizzone, girasole, grano saraceno, lino, basilico, salvia, rosmarino, timo, coriandolo, cumino, aneto, camomilla, lavanda ed enotera, e tantissime altre). La distribuzione e la fenologia (ossia la sequenza delle fasi di vita di un organismo, animale o vegetale, in rapporto ai fattori climatici) di molte piante ed animali è stata mutata dai cambiamenti climatici; i disallineamenti tra la fenologia delle piante e quelle degli insetti si manifestano attraverso un anticipo globale degli eventi primaverili di 2,3 giorni per decennio e uno spostamento della zonazione delle specie di 6,1 km e più per decennio verso i poli. Le piante stesse, la cui produzione di fitormoni è legata sia alla lunghezza del giorno ed alla escursione termica giornaliera, sia alla temperatura media stagionale, presentano alterazioni fenologiche significative.

I cambiamenti climatici, inoltre, spingono specie invasive, piante ed animali alieni, ad occupare zone biogeografiche meno stressate dall'aumento della temperatura, e portano nuove popolazioni di parassiti e patogeni, dei quali le alterazioni del clima accrescono la virulenza e la diffusione.

Lo sconvolgimento dell'assetto climatico del pianeta si rivela una causa globale ad altissimo potere letale, capace di portare al collasso, nel mare

come sulla terraferma, le basi biologiche della vita. In risposta al riscaldamento globale degli ultimi decenni, sono mutate le diversità di specie, si è avuta una contrazione delle popolazioni di ogni singola specie, e si sono ridotte le attività stagionali di alcune specie di impollinatori selvatici (quali ad esempio bombi e farfalle), con forti ripercussioni sui benefici che essi offrono.

La maggior parte degli insetti impollinatori va alterando la propria fenologia e quindi l'attività di impollinazione, a causa della alterazione di alcuni parametri climatici, come la temperatura media stagionale, le escursioni termiche giornaliere, l'umidità relativa, ecc. L'anticipazione del periodo di attività degli impollinatori, ad esempio, in risposta ai cambiamenti climatici, determina una discronia tra essi e la fioritura delle piante, rende più difficile la loro interazione, e riduce la disponibilità di risorse alimentari per gli insetti. Vale a dire che l'aumento, anche minimo, della temperatura media provoca un disallineamento del meccanismo piante-insetti-ambiente. Sono via via più alterati i segnali termici ambientali che innescano le attività di nidificazione e di foraggiamento, come l'accumulo di gradi-giorno, la temperatura dell'aria primaverile, la temperatura del suolo (riferita ai pochi centimetri di profondità di nidificazione).

Dal riscaldamento globale sono minacciate anche piante che ricorrono alla impollinazione anemogama (operata dal vento), le quali necessitano di un preciso periodo di freddo, a determinate temperature per produrre i fitormoni per germogliare (es. il grano), e cominciano a risentire fortemente del riscaldamento globale.

Abbiamo estati sempre più lunghe e più calde, e le più elevate temperature estive insistono sul processo di fotosintesi e, quindi, sulla disponibilità di sostanze ed energia per i vari processi metabolici della pianta, tra cui la produzione di nettare. Nelle specie legnose dell'ambiente mediterraneo, ad esempio, che hanno in genere un *range* di temperatura ottimale per la fotosintesi tra i 25-30°C, la fotosintesi comincia progressivamente a diminuire quando la temperatura delle foglie sale a 35-40°C, e le temperature ottimali,



a causa del riscaldamento globale, sono superate più frequentemente. Per gli insetti impollinatori, tutto ciò diviene una riduzione della disponibilità di risorse alimentari in nettare ed in polline. Se all'aumento della temperatura si accoppia anche una riduzione della disponibilità idrica, gli effetti divengono molto più dannosi, sulla quantità di nettare prodotto dai fiori e sulla sua qualità, in termini di composizione chimica.

### **Il nettare**

Il nettare ed il polline sono il compenso che le piante offrono ai pronubi per il trasferimento del polline nell'intera popolazione di una determinata specie e sono anche la loro dieta. Il nettare è una secrezione acquosa di varie sostanze e pertanto per la sua produzione è necessaria una disponibilità di acqua; l'acqua è poca, la produzione di nettare diminuisce. Bisogna considerare che, una volta prodotto, il nettare va spesso incontro a perdita di acqua per evaporazione con conseguente aumento della concentrazione dei soluti (principalmente zuccheri) e quindi della sua viscosità. Un incremento della temperatura può incidere pesantemente su tale fenomeno, in quanto, sebbene di per sé determini una diminuzione della viscosità, in combinazione con la perdita di acqua ed il conseguente aumento della concentrazione del nettare, può causare un aumento complessivo della viscosità. La viscosità è un parametro chiave per le dinamiche nettare-impollinatore, in quanto influenza direttamente il guadagno energetico netto dell'impollinatore, essendo un fattore determinante sul dispendio di energia richiesto per la suzione della secrezione: più il nettare è viscoso più difficile e dispendiosa sarà la sua suzione da parte dell'insetto; oltre un certo limite – a seconda delle caratteristiche morfo- anatomiche dell'apparato boccale e delle modalità di suzione del nettare, l'insetto non può suggerire il nettare. Una eccessiva concentrazione dei soluti, dovuta all'aumentata perdita di acqua per evaporazione, ha effetti diretti sulla composizione chimica nel nettare, nel quale si trovano metaboliti secondari il cui effetto sulle api, ad esempio, varia in funzione della loro concentrazione.

L'aumento delle temperature medie nell'autunno-inverno altera la normale fenologia delle piante con effetti eclatanti nell'induzione di fioriture tardive in molte specie arboree. La pianta, quando si prepara normalmente al riposo invernale, è forzata dalla temperatura più alta, a spendere un surplus di energia per la produzione di fiori che non porteranno alla produzione di frutti e semi. Nella primavera successiva la pianta avrà a disposizione una quantità di riserve minori per la normale fioritura primaverile che, si noti, in tali piante avviene prima dell'emissione delle foglie e quindi sfrutta riserve pre-immagazzinate. Ciò si riflette in un minor numero di fiori e/o in una ridotta produzione di nettare. Anche l'aumento delle temperature primaverili-estive può avere per effetto una contrazione del periodo di fioritura e della antesi florale, nonché una riduzione nel numero di fiori prodotti per pianta ed un aumento del numero di fiori privi di nettare o con antere abortite.

Oltre ai profumi, colori e forme i fiori utilizzano anche il calore per attirare gli insetti. I fiori di alcune piante producono abbastanza calore per aumentare le loro temperature fino a 3,5°C sopra la temperatura dell'aria mediante la trasformazione in calore della luce solare o anche con la produzione di calore mediante "termogenesi".

Il meccanismo fisiologico che induce la produzione di calore al diminuire della temperatura dell'aria non è ancora conosciuto. Piante termogeniche appartengono solo alle più antiche famiglie di angiosperme; si sono evolute in associazione con coleotteri impollinatori. Oltre alle altre ricompense nutrizionali, alcune piante premiano impollinatori "ecto-termici" anche con il calore. I bombi, ad esempio, scelgono i fiori più caldi, soprattutto quando, nelle prime fasi primaverili, la temperatura costituisce un fattore limitante per l'attività dei pronubi. Gli insetti sono organismi pecilotermi; la loro temperatura corporea è in accordo con quella esterna e, nella interazione calorica con i fiori termogenici, gioca la differenza di temperatura ambiente-fiore. Se la temperatura ambientale è più elevata, alla pianta non sempre è possibile superarla, quindi cade l'attrattività ca-

lorica ed il fiore avrà meno probabilità di essere visitato.

Il nettare è secreto da apposite ghiandole dette “nettari”. Contiene, appunto, acqua, zuccheri ed amminoacidi che costituiscono il prevalente o unico cibo per gli impollinatori. È una sostanza specializzata verso gli impollinatori specifici della pianta. Fiori visitati dagli apoidei contengono più zucchero dato che gli apoidei utilizzano anche il polline come fonte proteica, mentre, ad esempio, nei fiori visitati da lepidotteri prevalgono gli aminoacidi, poiché l'apparato boccale di questi insetti (la spiritromba) consente loro solo alimenti fluidi. L'importanza del nettare ed il suo costo energetico è dimostrata, per converso, dal fatto che la pianta produce un nettare tossico per alcuni insetti poco o affatto utili nel trasferimento del polline.

Vi sono specie di piante che hanno nettari “extraflorali”; questi nettari hanno un ruolo mutualistico, finalizzato ad attrarre soprattutto formiche e/o coccinelle, cioè predatori di eventuali insetti nocivi. Il nettare funge quindi da richiamo per insetti che possono poi acquisire il ruolo di “guardie del corpo”. Se invece un'ape o un pipistrello si avvicinano alla pianta, questa addolcisce il suo nettare: si suppone che le piante comunichino con gli animali attraverso suoni non udibili all'uomo (comunicazione vegetale).

Alcuni fiori reagiscono al ronzio prodotto dalle api in volo producendo rapidamente un nettare più dolce del 20%, obbedendo al segnale generato da ultrasuoni impercettibili dall'uomo ed attivi nei confronti del fiore già a distanze intorno ai 10 cm. I fiori sono in grado di captare le onde sonore, generando a loro volta delle vibrazioni in risposta al battito delle ali degli impollinatori. Recenti studi hanno inoltre rilevato che i fiori sono in grado di “riconoscere” il tipo di ronzio e conseguentemente essere più o meno “generosi” nella liberazione del polline dalle antere in funzione del tipo di impollinatore più o meno efficiente nel trasporto del polline.

Le dimensioni dei granuli di polline vanno tra 15 e 200 micrometri; le api raccolgono più frequentemente quelli nel *range* tra 40 e 90 micrometri. È

Il *Bombus soroensis* FABBRICIUS 1777 e la *Xylocopa frontalis* LATREILLE 1802, afferrano il fiore e, muovendo rapidamente i muscoli del volo, fanno vibrare il fiore e le antere con un vigoroso scuotimento, facendo fuoriuscire il polline, su colture quali pomodoro, peperone e mirtillo, che non possono essere impollinate dall'ape mellifera o da altri apoidei di piccole dimensioni. Questa vibro-impollinazione è chiamata “impollinazione del ronzio” e circa il 9 % dei fiori del mondo (20 000 specie) viene impollinato mediante questa impollinazione vibrante. Osmie e bombi riescono a bottinare sulle colture anche quando vi sono basse temperature, vento forte ed elevata umidità che impediscono alle api mellifere di volare.



***Bombus soroensis***



***Xylocopa frontalis***

un alimento completo, contiene proteine solubili e insolubili, lipidi e carboidrati (amido, glucosio, fruttosio saccarosio e zuccheri più complessi). Solo una parte del polline raccolto è destinato ad impollinare altri fiori dal momento che costituisce una importante fonte di cibo per l'entomofauna. Il polline di tutte le specie entomofile è ricoperto da una sostanza di natura lipidica detta *pollenkitt*, che determina il colore e l'odore del polline. Essendo viscoso, il *pollenkitt* partecipa alla formazione delle palline che le api portano nelle cestelle delle zampe posteriori; favorisce l'adesione allo stigma e fa aderire i granuli all'antera finché questi non vengono attivamente raccolti dall'impollinatore. Al microscopio è spesso osservabile una micro-scultura con uncini o altre appendici

in modo da favorire l'adesione al corpo degli impollinatori. Il polline è attratto da forze elettrostatiche che vengono accumulate sia sul corpo degli impollinatori che sui fiori e sono in grado di esercitare un campo elettro-magnetico che facilita il trasferimento del polline sia dal fiore verso l'impollinatore che viceversa. L'atterraggio di un impollinatore su un fiore provoca una temporanea alterazione del potenziale elettrostatico, alterazione che diviene una sorta di informazione per i successivi "visitatori" del fiore, i quali apprendono che quel fiore, è stato appena visitato, ed ha minori riserve di polline e nettare.

Questi brevissimi cenni sulle interazioni tra Angiosperme ed insetti impollinatori forse lasciano comprendere come l'aumento della temperatura, che diviene sempre più intenso, sconvolge questi delicatissimi meccanismi che sono comunque e sempre legati alla temperatura ambientale.

Sulla gravità della "crisi di impollinazione" disponiamo di una prova, cioè i tentativi di costruiri

re api-robot che possano sostituire gli impollinatori. In un solo giorno un'ape riesce visitare fino a 3.000 fiori (vorrei aggiungere gratuitamente per noi). Le api bottinatrici di una colonia, mediamente, visitano 100 milioni di fiori. Inoltre l'ape, per istinto, fa in modo che il fiore rimanga integro ed in condizioni di proseguire il suo compito. Proviamo ad immaginare un operatore che debba guidare il piccolo robot della immagine a visitare 100 milioni di fiori al giorno, prelevare e depositare il polline e, tra l'altro, lasciare inutilizzato, e marcescente, il nettare che la pianta ha prodotto con tanta fatica. ●



***Ambienti e migrazioni umane***  
a cura di **Elena Gagliasso, Giulia Iannucci,**  
**Leonardo Ursillo**  
Franco Angeli 2022



Un libro dedicato all'*andare*, alle forme dei transiti umani sul pianeta, nel loro passato remoto, nel loro plasmare le culture materiali e simboliche e nel loro costante riproporsi nel presente, con cause che si rinnovano ed esiti che ci toccano da vicino.

Due i temi principali che si intrecciano: le devastazioni ecologiche e le diaspore umane che ne conseguono. Ma il libro si inoltra in un percorso complesso, che incrocia diversi campi di ricerca e ha l'intento di collegare le spiegazioni bioevolutive, antropogenetiche, ecologiche del fenomeno con quelle filosofiche, cognitive, sociali e ideologiche. In breve: l'evoluzione biologica e il contesto storico culturale.

Il legame tra le migrazioni e gli ambienti che cambiano non è certo un dato nuovo o contingente. Al contrario, si mostra come una "forma di vita" propria della natura umana e in comune con ogni specie "mobile". Ma se del migrare remoto abbiamo tracce documentali e indizi di cause, di quello presente siamo spettatori - e attori - in prima persona. E il presente è quello su cui possiamo agire. La conoscenza in questo ambito si lega perciò alla responsabilità che riguarda anche il futuro.

Saggi di Giorgio Manzi, Elena Gagliasso, Stefano Pilotto, David Ceccarelli, Leonardo Ursillo, Antonello La Vergata, Carmela Morabito, Giulia Iannucci, Ilaria Tani, Massimo Vedovelli.

---

## Il Codibugnolo di Sicilia

### *Aegithalos caudatus siculus*

Mathia Coco,  
Renzo Ientile,  
Bruno Massa

---

The isolation of Sicily, starting from 20,000 years ago, has led to the differentiation of some animal and plant species due to isolation and lack of gene flow. Among the birds that have most differentiated in about 20,000 generations there is the Long-tailed Tit of Sicily, linked to the figure of Joseph Whitaker; it was he who described in 1901 the *Acredula sicula*, today *Aegithalos caudatus siculus*. Its peculiarities in plumage coloring and biometrics clearly separate it from individuals living just three kilometers away in Calabria, differences that have recently been confirmed also on a genetic basis. This contribution intends to make a synthesis of what is known about the life of this singular bird in Sicily.

Keywords: *Acredula sicula*, *Aegithalos caudatus siculus*, *Isolation and speciation*

---

Nel 1901 Joseph Whitaker<sup>1</sup> (imprenditore inglese trasferitosi in Sicilia a cavallo dei due secoli XIX e XX, apprezzato ornitologo e archeologo) descrisse l'*Acredula sicula*, nome che conìò per il Codibugnolo presente in Sicilia, caratterizzato da una diversa colorazione e una taglia minore rispetto ai codibugnoli di altre parti d'Europa. Lo stesso Whitaker tornò sull'argomento nel 1902<sup>2</sup>, dando ulteriori informazioni sulla distribuzione nell'isola e pubblicando una splendida tavola a colori realizzata da Henrik Grönvold in cui sono rappresentati l'adulto e il giovane di questo interessante uccello (Fig. 1). In questo breve articolo presentiamo i caratteri di questo endemita siciliano, corredando il testo con alcune immagini scattate dal primo autore con una Canon Eos 5D Mark III, obiettivi Canon EF 100-400mm f/4.5-5.6 L IS USM e Canon Extender EF 1.4x III nelle due località dove Whitaker aveva inizialmente trovato questo uccello: la Riserva Naturale di Ficuzza e il Parco Regionale delle Madonie. Molte informazioni di questo testo sono ricavate dalla tesi di dottorato del secondo autore<sup>3</sup>.



1. Whitaker J, *On a new species of Acredula from Sicily*, Bull. Br. Orn. Club, 11: 51-52, 1901.

2. Whitaker J, *Further information on two recently described*

*species of Passerine Birds*, Ibis, Ser. 8 (2): 54-60, 1902.

3. Ientile R, *Il Codibugnolo siciliano, Aegithalos caudatus siculus Whitaker 1901: eco-e-*

*tologia, morfologia e caratterizzazione genetica*, Tesi di dottorato di Biologia Evoluzionistica, Università degli Studi di Catania, 2010.

### Morfologia del Codibugnolo siciliano

La sistematica dei codibugnoli nell'ultimo secolo si è aggiornata e sono stati tutti trasferiti nel genere *Aegithalos* descritto nel 1804 da Hermann; pertanto la specie di cui parliamo oggi si chiama *Aegithalos caudatus*. Cerchiamo ora di capire quali sono le differenze tra il Codibugnolo siciliano e quello che vive nella penisola italiana, che fu descritto con il nome *Aegithalos caudatus*



**Fig. 1.** La tavola di Henrik Grönvold realizzata per Joseph Whitaker e pubblicata nel 1902. In alto l'adulto del Codibugnolo di Sicilia, in basso il giovane da poco involato dal nido.

*italiae*; è probabile che durante l'ultima glaciazione (18 mila anni fa) il Codibugnolo italiano sia rimasto isolato nella penisola, senza tenere più rapporti con quello europeo *A. caudatus europaeus*, ma in tempi più recenti quest'ultimo ha effettuato movimenti verso sud in varie occasioni e si è mescolato con quello italiano dando luogo a forme ibride. Sembra evidente che il livello di ibridazione non può consentire la stabilizzazione dei geni dell'*italiae* e quindi non ha molto senso parlare di sottospecie nella penisola. È interessante osservare che in Italia è possibile trovare codibugnoli a dorso grigio (tipo *italiae*) e altri a dorso nero (tipo *europaeus*), fatto che dimostra il flusso di geni di *europaeus* attraverso la popolazione italiana. È diverso invece il caso del Codibugnolo di Sicilia *Aegithalos caudatus siculus*; il suo isolamento in Sicilia data da almeno 20 mila anni fa (cioè da quando l'isola si è definitivamente staccata dal continente<sup>4</sup>) e ha consentito una netta differenziazione, non solo nel dorso grigio (presente anche in parte della popolazione italiana), ma anche nella colorazione del capo privo delle caratteristiche bande scure laterali (solo in alcuni individui sono appena visibili), per le scapolari grigie (non rossicce come negli altri codibugnoli) e per le misure di ala e coda mediamente inferiori sia rispetto agli individui tipo *italiae* sia a quelli tipo *europaeus*<sup>5</sup> (Fig. 2-4). Anche il giovane del Codibugnolo di Sicilia ha caratteristiche proprie messe in evidenza da Whitaker nel 1902, con il bel disegno di Gronvöld: il capo ha una colorazione uniforme marroncina, carattere che non si osserva in nessuna altra sottospecie di codibugnolo (Fig. 5).

È interessante osservare che gli individui della sottospecie *europaeus* risultano i maggiori di taglia, ma i risultati dell'analisi morfometrica<sup>6</sup> mostrano una sorta di gradiente dimensionale da nord a sud all'interno di un'area ricadente tra

4. Antonioli F, Lo Presti V, Morticelli MG, Mannino MA, Lambeck K, Ferranti L, Bonfiglioli C, Mangano V, Sannino GM, Furlani S & Canese SP, *The land bridge between Europe and Sicily over the past 40 kyrs: timing of emersion and implications for the migration of Homo sapiens*, Rendiconti Online della Società Geologica Italiana, 21: 1167-1169, 2012.

5. Lo Valvo F, *The Sicilian Long-tailed Tit, Aegithalos*

*caudatus siculus* Whitaker 1901, a subspecies not to be underestimated, Pp. 349-354 in: La Mantia T, Badalamenti E, Carapezza A, Lo Cascio P & Troia A (eds.), *Life on Islands. I. Biodiversity in Sicily and surrounding islands. Studies*

*dedicated to Bruno Massa*. Ed. Danaus, Palermo, 496 pp. 2020.

6. Ientile R, op. cit.



**Fig. 2.** Il Codibugnolo di Sicilia ha il dorso grigio ed il capo marroncino striato (foto di M. Coco).



**Fig. 3.** Il Codibugnolo di Sicilia è riconoscibile soprattutto per la colorazione della testa marroncino striato (foto di M. Coco).



**Fig. 4.** Codibugnolo siciliano, caratteristico per il capo piuttosto chiaro e il dorso grigio (foto di M. Coco).



**Fig. 5.** Giovane di Codibugnolo di Sicilia *Aegithalos caudatus siculus*, riconoscibile per la colorazione del capo scura (foto di M. Coco).

46° e 42° N di latitudine. La colorazione del piumaggio rappresenta uno degli aspetti peculiari del Codibugnolo siciliano; il disegno e le tonalità sono distintivi. La biometria rivela una differenza di taglia; pur essendo mediamente più piccolo di quello presente in Italia, differenze nelle misure, di uguale entità, si trovano all'interno delle stesse popolazioni dell'Italia peninsulare. Tuttavia la popolazione siciliana, nonostante lo stretto braccio di mare esistente tra l'isola e la Calabria, risulta ben definita e differenziata sia morfologicamente sia geneticamente rispetto alle popolazioni italiane.

Infatti, i dati ottenuti con l'analisi del DNA mitocondriale, della biometria e della colorazione indicano che nella penisola italiana il Codibugnolo

presenta un sistema di popolazioni ampiamente sovrapposte, tra le quali si riscontra un probabile elevato flusso genico. Il fatto che nel Nord Italia siano frequenti fenotipi comuni nella sottospecie *europaeus* fa pensare, d'altra parte, che tra le popolazioni italiane e quelle del resto dell'Europa continentale abbia luogo regolare flusso genico. Questo fatto conferma i dubbi sulla validità dell'attuale quadro tassonomico: la suddivisione in sottospecie del Codibugnolo è da rivedere attraverso indagini su tutte le popolazioni europee riguardanti la loro diversità fenotipica e genetica. Le analisi del DNA mitocondriale hanno messo in evidenza un divario tra la popolazione siciliana e quella dell'Italia peninsulare, con una distanza genetica stimata tra i due gruppi tra 0,6 e 1%. I

risultati ottenuti evidenziano che è avvenuto un isolamento della popolazione siciliana, in tempi recenti, possibilmente durante l'ultima glaciazione pleistocenica e da quando la Sicilia è diventata definitivamente isola, cioè tra 18 e 20 mila anni fa. Benché negli uccelli le differenze genetiche tra specie sono solitamente validate se superiori al 2%, il differenziamento, la mancanza di flusso genico e l'isolamento geografico tra la popolazione siciliana e quelle italiane risulta tale da potere considerare i due *taxa* specie separate; non essendo questa la sede per affrontare questo argomento, ci limitiamo a considerare la popolazione siciliana un'entità evolutiva indipendente (Evolutionary Significant Unit, ESU)<sup>7</sup>.

### Habitat e nidificazione del Codibugnolo di Sicilia

La presenza in Sicilia di questo uccello è nota sin dalla metà dell'Ottocento<sup>8</sup>, quando era ritenuto piuttosto raro nell'isola; come detto sopra, abbiamo dovuto aspettare almeno 60 anni perché Whitaker si accorgesse delle differenze rispetto agli altri codibugnoli. La distribuzione in Sicilia oggi è molto ben nota e include tutte le aree in cui sono presenti boschi di latifoglie (perlopiù querceti) e secondariamente mosaici vegetazionali ai margini di essi, spesso boschi associati a macchia alta, con rovo, rosa canina, ginestra, etc. Il codibugnolo occupa tutte le principali aree montane dell'isola, Madonie, Nebrodi, Etna, Peloritani, Iblei, Sicani, ma si può trovare qua e là dove sono presenti boschi di latifoglie, preferibilmente querceti, a quote molto variabili, quasi dal livello del mare fino a 1600 m slm.

Il nido è generalmente posto su alberi, rovi o fitti arbusti ad un'altezza variabile da 2 a 7 metri dal suolo, ma può anche essere posto ad altezze maggiori, in questo caso generalmente vicino

al tronco o ad una larga biforcazione. Gli adulti fanno molto uso di ragnatele per guarnire il nido, che contiene molto muschio e licheni, oltre che piccole piume di uccelli. Alla fine del lavoro la coppia ha costruito un capolavoro di mimetismo e solo un occhio attento si può accorgere dell'esistenza del nido agganciato alla biforcazione di due grossi rami (Fig. 6-8). È una grande costruzione a forma di sacco, più larga verso il basso, con l'apertura posta nel terzo superiore. L'interno è rivestito di una gran quantità di piume e lana. Quando nascono i pulcini, gli adulti li nutrono con insetti, soprattutto bruchi di lepidotteri e al-



**Fig. 6.** I codibugnoli, quando costruiscono il nido, vanno alla ricerca di ragnatele, fibre vegetali, muschi e licheni per guarnire la coppa (foto di M. Coco).



**Fig. 7.** Quando costruiscono il nido, sono impegnati entrambi gli adulti per renderlo il più mimetico e confortevole possibile (foto di M. Coco).

7. Ryder OA, *Species conservation and systematics: the dilemma of subspecies*, Trends in Ecology and Evolution 1: 9-10, 1986.

*Avifauna del Modenese e della Sicilia*, Giorn. Sci. nat. econom., 5: 137-195; 6: 187-236; 7: 9-72; 8: 40-124; 9: 28-93; 10: 35-71; 10: 133-148; 1869-1874.

8. Benoit L, *Ornitologia Siciliana*, Stamperia G. Fiumara, Messina, 1840. Doderlein P,





**Fig. 8.** Una volta terminata la costruzione del nido, appare quasi invisibile agli occhi di un possibile predatore; nella foto la femmina ha iniziato a covare (foto di M. Coco).

tri piccoli insetti che trovano nelle latifoglie (Fig. 9). Una femmina che ha nidificato si riconosce facilmente perché la sua lunga coda all'apice rimane un po' piegata a causa della cova all'interno del nido; il maschio, non occupandosi della cova, mantiene la lunga coda dritta. Il giovane, oltre che per la colorazione differente dall'adulto, si riconosce per l'anello perioftalmico giallo rossiccio, carattere distintivo in comune con le altre sottospecie.

Il Codibugnolo in Sicilia nidifica nel mese di marzo; depone 8-12 uova che schiudono dopo 13 giorni di incubazione. I piccoli abbandonano il nido nel corso della terza settimana di vita<sup>9</sup>. I nidi osservati da Whitaker<sup>10</sup> sulle Madonie, a Montaspro, nel mese di giugno contenevano pulcini già impiumati (Fig. 10) ed erano posti su alberi di olivo, alla biforcazione dei rami, ad un'altezza di circa 2 metri e mezzo dal suolo.

È stata accertata la presenza di individui che cooperano con la coppia nell'allevamento dei giovani, i cosiddetti *helpers*; si tratta di una strategia alquanto diffusa e ampiamente documentata per questa specie. La frequente presenza di *helpers*

9. Ientile R, op. cit.

10. Whitaker J, *Further information on two recently described species of Passerine Birds*, cit.



**Fig. 9.** Varie fasi di cattura di prede per i pulcini nel nido da parte degli adulti. I bruchi di lepidotteri sono la preda più frequente (foto di M. Coco).

è anche giustificata dall'elevato insuccesso nella riproduzione, poiché gli individui che fungono da *helpers* sono generalmente quelli che hanno perso la covata. L'insuccesso riproduttivo è principalmente dovuto a predazione da parte di corvidi (soprattutto ghiandaie), ma anche da parte di mustelidi (sia martora che donnola).

Il Codibugnolo è un uccello molto sociale e durante l'inverno può essere osservato anche in località diverse da dove si riproduce, spesso associandosi in gruppi numerosi di adulti e immaturi.

### Conclusioni

Il Codibugnolo siciliano *Aegithalos caudatus siculus* è una specie non soggetta a particolari misure di tutela. È inserito nella Convenzione di Berna, legge 5 agosto 1981, n. 503 per la conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa, appendice II (specie di fauna rigorosamente protette), ma non compare negli elenchi di altre convenzioni internazionali. Tuttavia, trattandosi di una *Evolutionary Significant Unit*, esso meriterebbe particolari misure di tutela. È distribuito esclusivamente in Sicilia, occupa solo una parte del territorio regionale, si rinviene con basse densità rispetto

alle popolazioni di questa specie diffuse in Europa. Nonostante non si evidenzino particolari minacce e lo stato di conservazione appaia sicuro, è auspicabile, data la potenziale vulnerabilità di questa popolazione insulare, che siano adottate misure di conservazione pratiche. A tal fine un passo importante sarebbe la sua inclusione nell'Allegato I della Direttiva Uccelli 79/409/CEE, modificata con 2009/147/CE, come già avvenuto per la Coturnice di Sicilia (*Alectoris greca whitakeri*), pure legata alla figura di Whitaker. ●



**Fig. 10. Giovane di Codibugnolo di Sicilia da poco involato dal nido (foto di M. Coco).**

### *Osservare i Viventi* Proposte sperimentate con la guida di Maria Arcà, Paolo Mazzoli, Nicolina Sucapane



Nuova edizione aggiornata ed estesa  
Collana Finestre, *I libri di Naturalmente Scienza*  
ETS 2021

Questo libro, prezioso come pochi per la formazione iniziale e l'accompagnamento in itinere degli insegnanti, è una riedizione aggiornata e ampliata della prima edizione del 1988, mai ristampata fino a diventare introvabile. È questa la ragione che ha promosso e sostenuto l'idea della ripubblicazione in una veste nuova, aggiornata ed ampliata con altri percorsi realizzati nelle classi da insegnanti che hanno tratto spunti e guida da queste tracce, sviluppandole e documentandole a loro volta.

Le sue origini risalgono a un progetto di ricerca del MIUR e del CNR coordinato da Maria Arcà e Paolo Guidoni che aveva sviluppato una riflessione approfondita sui concetti che strutturano la conoscenza biologica. I risultati di questa ricerca sono stati tradotti in linee di lavoro adatte a sviluppare nei bambini, fin dai primi anni di scuola, interesse, competenza e attenzione per i processi biologici. Le sperimentazioni condotte in alcune classi dei primi anni della scuola primaria, hanno visto la collaborazione attiva degli insegnanti Daniela Bianchi, Paolo Mazzoli e Alberto Manzi (Roma); Cristina Basi e M. Pia Ceccarelli di Trasacco (L'Aquila).

## Le domande dell'insegnante

Maria Castelli

Good questions are open, focused, and easy to understand, followed by carefully listening to the answers. They should be few, because the teacher's speech is emblematic: an example of the way to "look at things" that children will learn as a natural attitude to pay attention. As with all aspects of teaching, you don't improvise.

Asking good questions is learned by listening to children's answers and reflecting on their own way of teaching: in the article, some examples.

Keywords: *Questions and answers, Science teaching in primary school*

*Cercare vere risposte a vere domande* pubblicato in FARE SCUOLA sul numero 3 della rivista<sup>1</sup> entrava nel merito delle domande autentiche e piene di curiosità che bambini e ragazzi pongono in contesti favorevoli, esprimendo il desiderio di capire e di imparare. Le domande degli alunni devono però trovare riscontro nell'autenticità delle domande che l'insegnante rivolge loro per guidarli a definire, circoscrivere, analizzare i problemi prima di affrontarli insieme, assumendo il ruolo di mediatore fra la disciplina e le conoscenze degli alunni.

Riflettendo sull'insegnamento della biologia nella scuola primaria, Maria Arca scrive: "È molto importante la scelta delle domande iniziali da porre ai ragazzi, che dovrebbero essere estremamente chiare ed aperte. Eccone alcune:

- che cos'è?
- come pensate che sia fatto dentro?
- come sarà domani?
- come sarà tra un mese?

Partendo da queste domande i bambini sanno esattamente di che cosa debbono parlare, e man mano che la discussione procede, si potranno porre domande più precise e specifiche che fanno riferimento alle cose che sono state dette e viste. In questo modo si può creare un buon 'contesto



1. Arca M, Mazzoli P, *Cercare vere risposte a vere domande*, Naturalmente scienza, 3:66-72, 2021.

per pensare' a proposito di qualcosa di concreto. [...] Questa attività di discussione a tema potrebbe diventare il filone metodologico portante per tutto il curriculum di scienze biologiche: il contesto "ufficiale" nel quale si elaborano le idee, si mettono in comune modelli mentali e spiegazioni, si concorda su alcuni punti fermi validi per tutti, si sintetizzano cose dette durante un certo periodo di lavoro. L'insegnante, lungi dall'essere assente o neutrale, esercita la sua azione di guida proponendo sempre nuove osservazioni e nuovi approfondimenti, spingendo i ragazzi a verificare la coerenza e la sensatezza di quello che dicono, con domande e richieste di chiarimenti ma nello stesso tempo deve avere la disponibilità (e la pazienza) di seguire fino nei minimi dettagli quello che i bambini cercano di dire, mettendo in discussione anche le cose che lui stesso, come adulto, sa, o crede di sapere, se in un certo contesto di discorso esse si rivelano incapaci di spiegare quello che i bambini stanno cercando di capire"<sup>2</sup>.

Come per tutti gli aspetti dell'insegnare, non ci si improvvisa, ma si impara anche dai riscontri, di giorno in giorno, distinguendo ciò che funziona da ciò che va cambiato. Così è per le domande: quelle buone e quelle sbagliate. Le prime, pur se aperte, sono mirate e denotano che l'insegnante sa che cosa vuole chiedere: intende indagare il punto di partenza, vuole capire che cosa interessa agli alunni e come poter lavorare con loro, è attento a cogliere le difficoltà di comprensione, le ambiguità e i malintesi. Le buone domande sono comprensibili dagli alunni, consentono loro di rispondere e sono seguite da un ascolto attento delle risposte. È opportuno che siano poche, perché il discorrere dell'insegnante dovrebbe essere emblematico, un esempio del modo di "stare sulle cose" che i bambini possono acquisire per imparare a stare al tema, abbandonando man mano l'approccio "iper-testuale" che spesso connota i loro interventi.

### **Domande per iniziare**

Nella scuola primaria, si progetta a grandi linee, definendo man mano le tappe. La direzione a breve termine e il ritmo di lavoro si calibrano sulla base delle risposte dei bambini, anche alle nostre domande. All'inizio di un percorso, o di una nuova fase del lavoro, esse saranno mirate a sondare le conoscenze e le curiosità dei bambini, promuovendo allo stesso tempo motivazione ed interesse e portando l'attenzione su oggetti, su situazioni ed esperienze intriganti e provocatorie. È utile richiamare attività e osservazioni precedenti e stimolare proposte su ciò che si pensa di fare. Sono preferibili domande poco definite, al limite del vago, per non dare indicazioni, ma ottenerle. Saranno domande del tipo:

- che dite di...?
- ne sapete qualcosa?
- vi interesserebbe...?

Sono le più facili da porre, ma occorre aver ben chiari gli scopi.

### **IL BATTITO DELLA VITA** (classi prima e seconda)

Con lo stetoscopio, i bambini avevano ascoltato il cuore pulsare e cercato con curiosità e divertimento i molti modi di usare la parola cuore nel linguaggio comune. Era il momento di fare una ricognizione per scegliere fra le varie attività ipotizzate.

*Che cosa sapete già del cuore e del suo battito?*

El. - Ho sentito la mamma dire al telefono che il cuore della nonna aveva smesso di battere e che non respirava più. Quando sei vivo il cuore batte e respira.

I nessi cuore che batte-vita e cuore che non batte-morte emergono subito, insieme al bisogno di soffermarsi a raccontare le poche esperienze dirette della morte.

2. Arcà M, Mazzoli P, Sucapane N, *Osservare i viventi*, 64-65, Pisa, ed. ETS, 2021.

N. e T. - Respiriamo con i polmoni, i polmoni prendono l'aria.

R. - Se nei polmoni entra anche tanto fumo come quello delle sigarette, i polmoni si ammalano e si può morire.

*Non ho ben capito che c'entrano l'aria e i polmoni con il cuore. Mi spiegate meglio?*

Nessuno sa aggiungere di più.

M. - Il cuore delle chiocciole e delle dafnie nell'acqua del fiume batteva veloce, questi animali sono piccolissimi.

G. - Di che colore è il cuore?

F. - È marrone rossiccio.

Ma. - Non ha proprio la forma che gli diamo nei nostri disegni, è più tondo.

El. - Il cuore degli animali è un po' diverso dal nostro.

V. - Dal cuore escono dei tubi.

S. e F. - Si chiamano vene e arterie.

Mi. - Ci sono due tipi di vene: le vene che portano il sangue sporco e le arterie che portano quello pulito.

Molti ritengono che il cuore sia pieno di sangue e quando pulsa lo spinge in questi tubi nei quali il sangue scorre per andare in tutte le parti del corpo e tenerle vive.

*Le vene sono come le strade a senso unico dove le macchine viaggiano in un solo senso oppure sono come le strade in cui le macchine vanno e vengono?*

F. - Le vene si girano per riportare il sangue al cuore.

M. - Si vede quando ti ferisci che in tutto il corpo c'è il sangue.

N. - Il sangue si forma nel cuore mentre batte o forse il cuore lo assorbe, lo risucchia.

P. - Questo è il sangue vecchio, che è già stato pompato dal cuore.

Pa. - È il cibo a formare sangue nuovo, ma il cibo non va nel cuore, va nello stomaco.

Mir. - Forse il sangue pulito pulisce quello sporco, forse si mescolano tante volte.

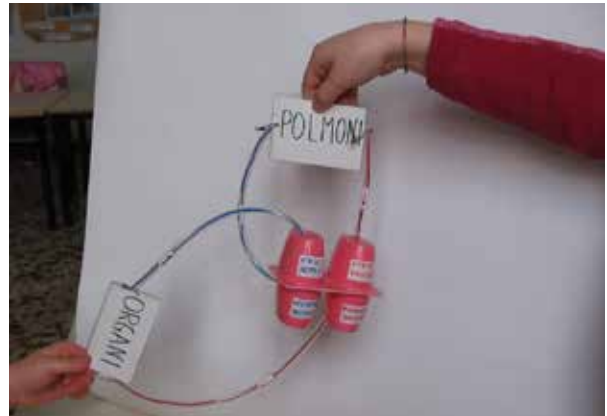
M.D. - Le vene si vedono blu, ma il sangue è rosso. Nelle favole si legge "avere il sangue blu", che cosa vuol dire?

Rispondo che è un modo di dire e ne spiego il significato.

*Il cuore degli animali è come quello dell'uomo?*

Qualcuno fa riferimento all'osservazione diretta per aver visto quello di un maialino sventrato,

oppure alle illustrazioni sui libri e sostiene che più o meno è come il nostro. Altri dicono che gli animali sono tanti e diversi nella forma, quindi anche il cuore sarà diverso dal nostro, pur svolgendo la stessa funzione.



**Modellino di cuore e circolazione (Progetto EST)**

*E come respirano gli animali?*

Quasi tutti concordano che gli animali che vivono in ambiente aereo respirano aria più o meno come noi attraverso narici e polmoni, mentre gli animali che vivono in ambiente acquatico si servono delle branchie. Qualcuno alleva dei pesci rossi o possiede un acquario e descrive il funzionamento delle branchie.

C. - Non tutti gli animali che vivono in acqua hanno le branchie: le balene e i delfini...

Ma. - Certi animali non respirano e restano vivi ugualmente.

M. - Ma se respiriamo noi per restare vivi, anche gli animali respirano. Qualcuno in un modo, qualcuno in un altro.

Dalle risposte si possono ricavare molti indizi intorno alle conoscenze che riguardano il cuore: l'immediata associazione movimento-vita, se c'è il battito del cuore c'è anche la respirazione, la correlazione fra le dimensioni del cuore e quelle del corpo di un animale, la necessità di conoscere com'è fatto il cuore per capire come funziona, l'esistenza dei vasi sanguigni in qualche modo in relazione fra loro, con il cuore e con il sangue, il funzionamento degli organi "in simultanea/in correlazione".

La curiosità verso la struttura del cuore e dei polmoni e l'intuizione del corpo come sistema di

organi indicano di proseguire con la costruzione di modellini e l'osservazione diretta di cuori e polmoni di animali che fanno parte della nostra dieta.



**Modellino di polmoni (Progetto EST)**

### Le domande nei momenti cruciali

Dopo esperienze importanti, è utile prestare attenzione ai commenti liberi fra i bambini o richiedere un testo "a caldo"; basta un semplice:

*Com'è andata, che dite? Che vi è sembrato?*

Anche un semplice giro di interventi può dare molto materiale sul quale riflettere per proseguire nel modo più proficuo. È il caso di attività particolarmente coinvolgenti come le nascite (es. schiusa di uova di gallina, sfarfallamento di Lepidotteri), l'osservazione diretta di organi di animali come cuore o polmoni, l'intervento in classe di esperti capaci di comunicare con i bambini, visite guidate o partecipazione a spettacoli di teatro-scienza, momenti di narrazione suggestivi.

Negli snodi determinanti di un percorso, occorre valutare se tutti trovano ancora senso in ciò che si sta facendo, oppure se ci sono difficoltà e si sta perdendo qualcuno lungo il cammino. Silvia Caravita<sup>3</sup> propone alcuni suggerimenti:

- non chiedere *i perché* ma *i come* dei fenomeni di cui si parla;

- riformulare qualcosa che è implicito in ciò che è stato detto e non è stato colto, non con l'intento di forzare verso l'interpretazione che vorrebbe l'insegnante, ma per rendere più chiaro cosa è stato detto;

- più volte durante il discorso, ripetere cose fin allora dette per fare il punto di dove si è arrivati;

- mostrare relazioni tra osservazioni o tra affermazioni di bambini diversi.

E consiglia domande mirate e precise, indispensabili per definire/circoscrivere/rendere chiari a tutti i problemi in gioco, per rilanciare ciò che si ritiene di riprendere o di approfondire:

*Abbiamo notato che... ma ora che cosa vogliamo capire?*

*Mi sembra che voi pensiate...*

*Credo che siate d'accordo sull'idea...*

*Fatemi capire meglio...*

*Come fai a dire che ...?* per indurre le prime riflessioni metacognitive.

*Che cosa succederebbe se ...?* per abituare a ragionare su alternative.

Sono questi interventi fondamentali per far emergere le dissonanze cognitive e tracciare il percorso di lavoro.

## ALLA VENDEMMIA

(classe prima)

A scuola iniziata da pochi giorni, si raggiunge il vigneto per partecipare alla vendemmia e alla spremitura dell'uva, operazione quest'ultima che si ripeterà a scuola con l'uva che viene regalata. Ogni fase dell'esperienza prevede momenti di os-

3. Formazione docenti, Caravita S, Attività laboratoriale "Per la conduzione delle conversazioni con i bambini: le domande dell'insegnante"

<https://www.naturalmente-scienza.it/sections/?s=583>



L'uva



Il mosto



Il vino

servazione, assaggio (di vino, giusto un cucchiaino), discussione, disegno, racconto.

Il focus del percorso sono le trasformazioni; accorgersi del cambiamento di sapore è essenziale perché, insieme alle bolle di anidride carbonica, permette di percepire gli effetti della fermentazione. Sfogliando il quaderno si ripercorrono le tappe dell'esperienza, a partire dall'uscita alla vigna. I bambini osservano che tante cose sono state fatte...

- È passato il tempo... osserva subito B.

Si contano sul calendario quanti giorni sono passati: 50 giorni, quasi due mesi.

*E l'uva?*

Li. - L'uva non c'è più, l'abbiamo mangiata e schiacciata.

Altri - Al posto dell'uva abbiamo il vino adesso.

*Dunque, prima l'uva, poi il succo e il mosto, adesso il vino, e voi avete assaggiato sempre...*

Molti - Il sapore è cambiato.

Rileggiamo le diverse descrizioni sul cartellone dei sapori. Il sapore dolce è andato via e sono venute le bollicine che nell'uva e nel succo non ci sono. Le abbiamo notate la prima volta osservando il mosto, a galla, fra le bucce.

Guardiamo sulla lim le tre foto dell'ultima discussione: l'uva, il mosto e il vino. Riprendiamo le osservazioni della lezione passata.

*Avete pensato? Vi è venuta qualche curiosità?*

Ale. - Perché il sapore dolce è andato via?

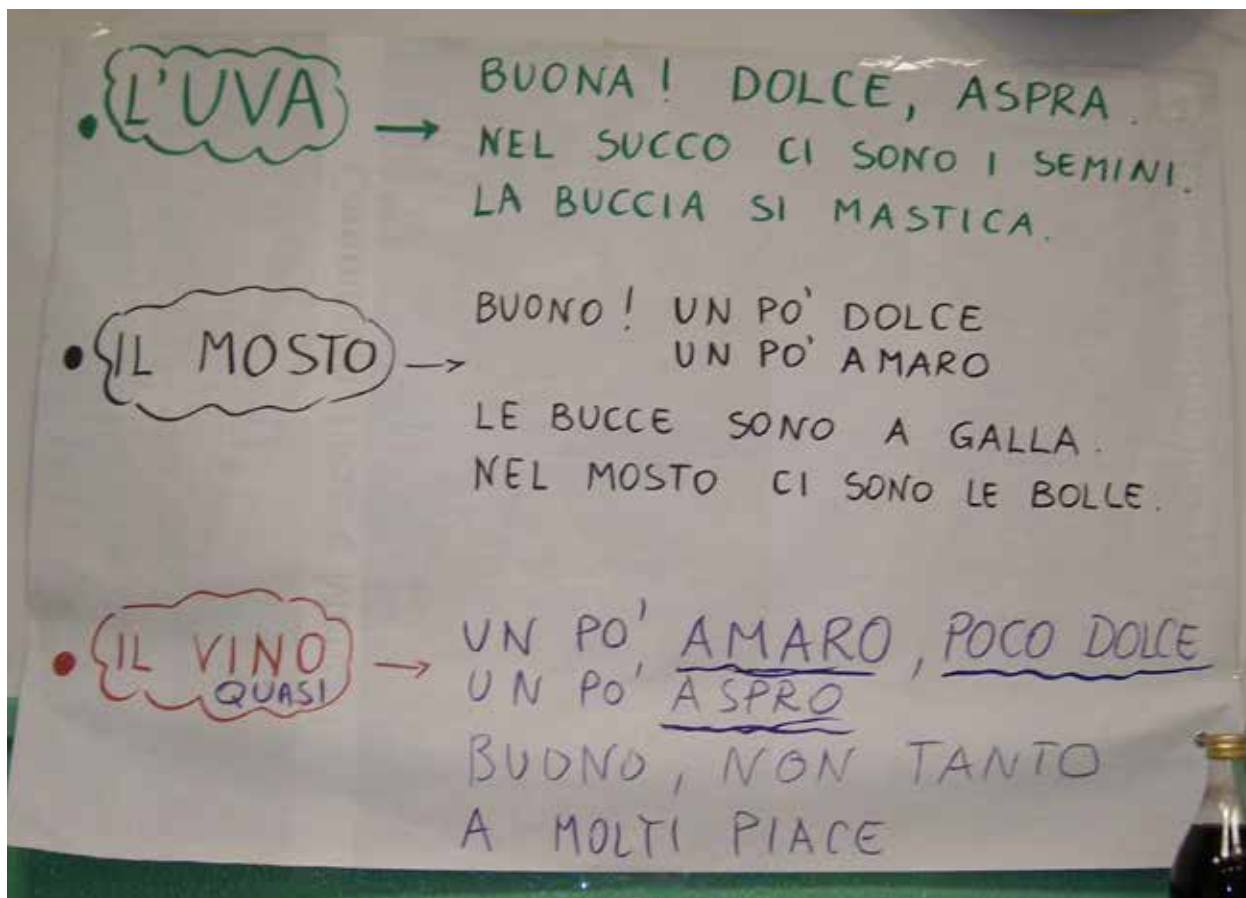
L. - È cambiato il sapore...

*Qualcuno vuole spiegare la domanda di Ale.?*

Cr. - Vuole dire come ha fatto il dolce ad andare via.



Assaggiare il vino



**Il cartellone dei sapori**

C. - È successo perché è passato il tempo...

Ale. - Come ha fatto il tempo a mandare via il sapore dolce?

*Le caramelle che porto a voi restano dolci anche se il tempo passa ...*

M. - Eh ma ne è passato poco, se di tempo ne passa tanto vedrai!

Per il momento sono contenta che un problema sia stato posto: come ha fatto il sapore del mosto a cambiare? E insieme c'è un'ipotesi interessante: il sapore è cambiato *perché* è passato il tempo. Deve passare del tempo perché il sapore cambi ed altre trasformazioni avvengano, non accade immediatamente.

### **Le domande sul linguaggio**

È frequente imbattersi in problemi di lessico, che spesso non sono evidenti e non vengono colti. Si impara con l'esperienza a riconoscere le difficoltà di comprensione dovute spesso ai differenti significati attribuiti alle parole e alle frasi dagli

adulti e dai bambini e ragazzi. È indispensabile in generale indagare i significati delle parole, ancor più se rappresentano concetti chiave come, ad esempio, *marcire* ed *equilibrio*. *Marcire* è un cambiamento che avviene nel tempo di cui viene percepita la causa. *Equilibrio* presuppone di porre in relazione due o più entità ed è un concetto fondamentale, non solo in educazione scientifica, dato che investe molti altri ambiti, ad es. lo stile di vita come si vedrà dalla discussione.

### **CHE COS'È MARCIRE?**

(classe quarta)

Proseguendo il lavoro con il terrario dei lombrichi, si osservano le due compostiere preparate da mesi in giardino. Si vuole portare a riflettere sulla decomposizione dei viventi e sugli organismi che se ne occupano, facendo poi scoprire che ciò che avviene nelle compostiere non è diverso da ciò che avviene in ogni cm<sup>2</sup> di giardino.



C. - Le larvette magari sono diventate mosche, anche le piantine saranno cresciute.  
 Ale.- Forse ancora qualche altro lombrico sarà entrato....  
 E.- Magari altre mosche hanno lasciato uova.  
 A.- Le foglie che c'erano dentro saranno marcite.  
 I. M.- I lombrichi che erano piccoli saranno più grandi...



Avanzi di cucina e orto all'aperto



Avanzi di cucina e orto in contenitore con prese d'aria

G. - Le larve saranno diventate adulte e avranno fatto i piccoli...  
 E. - Magari nel terreno che abbiamo messo ci sono altri semi e altre uova...  
 G.C. - I rifiuti che aveva messo la nonna di Simone forse i lombrichi li hanno mangiati, quelli che abbiamo messo noi li staranno mangiando adesso....  
*A ha detto che le foglie saranno marcite. Che cos'è MARCIRE?*  
 I.P. - È andare a male, come il latte.  
 C. - Come la carne, come i cibi che fanno la muffa... non sempre si fa la muffa...  
 L. - Come sulla passata di pomodoro se non la adoperi tutta e la lasci lì fa la muffa (L. è un

bambino disabile. Sono contenta di sentirlo intervenire con una considerazione pertinente. Mi dice spesso che "ama Scienze").  
 S. - Anche le mele...  
 S.C. - È il contatto con l'aria che fa marcire i cibi.  
 D. - Se un cibo è scaduto perché l'hai tenuto troppo tempo marcisce.  
 S. - Bisogna conservare in frigo per non far marcire.  
 M. - Se cuoci la carne si conserva più a lungo.  
 A. - Marcire è come morire, come le foglie quando cadono.  
 N. - Decomporsi è come polverizzarsi, marcire è diverso.

MARCIRE - AMMUFFIRE – DECOMPORSI sono tre parole sulle quali occorre fare chiarezza con l'aiuto di alcune esperienze. Da alcune settimane si segue la crescita delle muffe sul pane, sui limoni, sul formaggio e sulle fragole per arrivare a comprenderne il ruolo. In giardino, dopo un anno, si svuotano le compostiere per osservarne il contenuto e registrare quanto osservato. Viene individuato subito l'odore di terra bagnata e di muffa e si vedono fuggire a nascondersi alcuni millepiedi e 3 o 4 lombrichi neppure tanto piccoli. Non ci sono più resti di cibo ben riconoscibili ma foglie sminuzzate marce e rametti neri. Alcune piantine nuove verdi sono cresciute da poco qua e là.

*Che cosa succede a ciò che muore e rimane sul terreno, all'aria e all'acqua?*

G.C. - All'acqua sono marciti...

A. - Le cose vive si sono decomposte.

*Marcire e decomporsi era proprio il punto dove eravamo rimasti. Come sono avvenute le trasformazioni che abbiamo osservato?*



Muffa su fragole

- C. - Puzzano, sono nere e ammuffite adesso le cose che prima erano vive.  
 E. - Lombrichi e millepiedi sono andati nella compostiera a mangiare.  
 Ga. - ... sono andati a consumarle...  
 A. - Decomorsi vuol dire che il loro corpo si disfa...  
 G. - non sta più insieme, come una frase senza il verbo (come dice maestra Elena)  
 G.C. - questi rifiuti vanno a far parte della terra.  
 E poi nella terra potranno nascere nuove piantine o la terra sarà cibo per un lombrico e diventerà... lombrico.

I bambini dicevano che il cibo diventa parte del loro corpo; il lombrico mangia terreno e questo diventa parte del suo corpo.

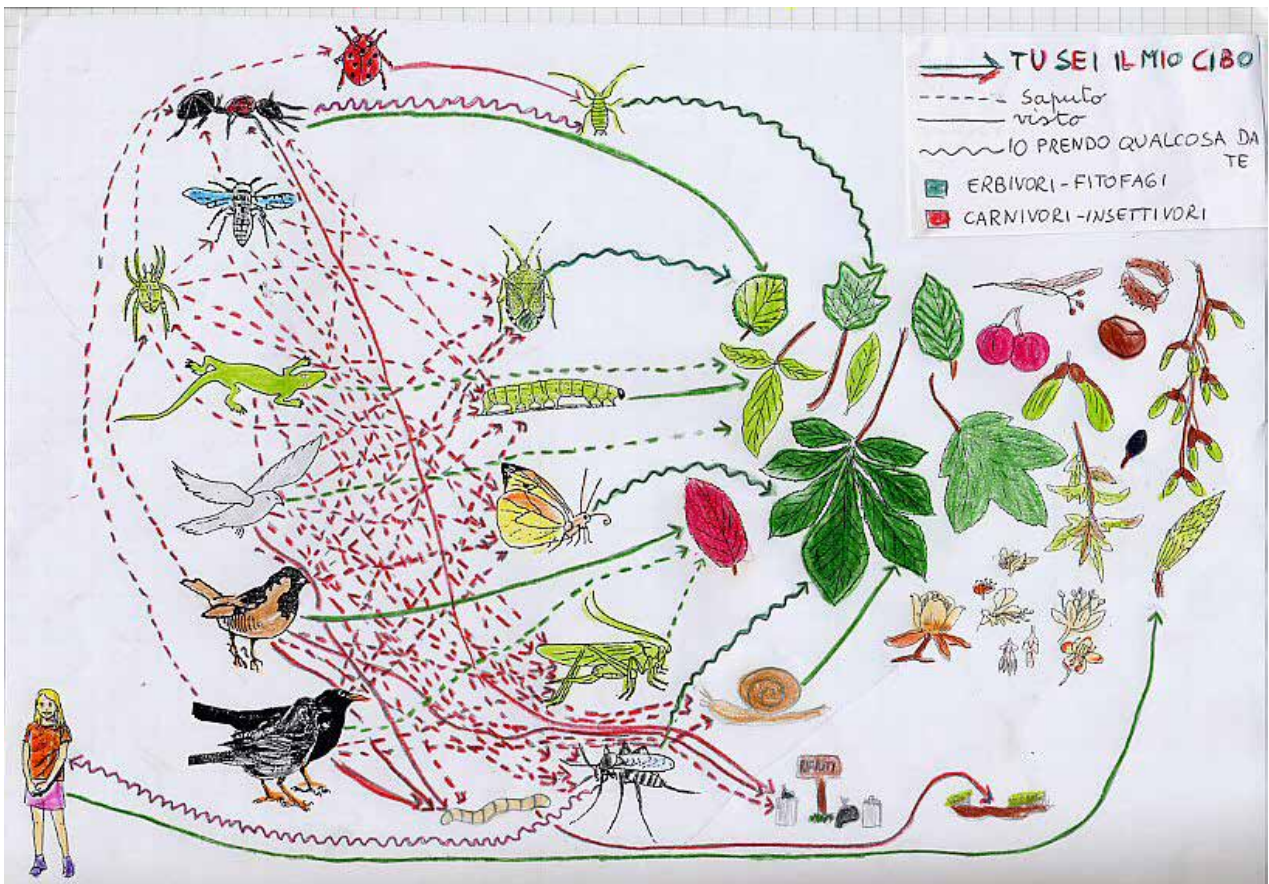
### UN GIUSTO EQUILIBRIO (classi terza, quarta e quinta)

Il giardino è uno degli spazi preferiti e meglio conosciuti della scuola. È stato il luogo delle attività sul campo per l'intero quinquennio e quella

che segue è la sintesi delle osservazioni sulle relazioni trofiche, il punto di partenza di altri lunghi ragionamenti.

*Ora che il grafico è finito, che dite? Che cosa notate?*

- R. - Gli uccelli hanno una dieta più varia e più ricca.  
 C. - Gli animali che mangiano vegetali vengono mangiati da altri...  
 Molti - ...a parte noi e gli uccelli.  
 N. - Bruco, cavalletta, afide e ragno hanno il colore del loro cibo.  
 L. - Sul cartellone tutti sono viventi, tranne i rifiuti e il terreno.  
 P. - Se muoiono i vegetali, muoiono gli erbivori e anche i carnivori.  
 S. - I carnivori non avrebbero più cibo.  
 Ma. (nuovo iscritto) - Avete fatto la rete alimentare dei viventi nel giardino.  
 Mi. - Si vedono gli erbivori e i carnivori.  
 S. - Anche nell'acqua del fiume se morivano le alghe tutti morivano.  
 P. - Invece se muoiono tutti i carnivori che cosa succede?  
 L. - Gli erbivori diventano tantissimi perché non ci



sono animali che li mangiano... vivrebbero di più gli erbivori e si mangerebbero tutti i vegetali... alla fine allora muoiono tutti.

Mi. - Dev'esserci un giusto *EQUILIBRIO*: anche i carnivori sono utili perché mangiano un po' di erbivori in modo che i vegetali non spariscono del tutto.

Ritorno alcuni giorni dopo sulla parola *equilibrio*: la mia impressione è che chi l'ha usata l'abbia fatto con una certa consapevolezza e con proprietà, mentre i più siano ben lontani. Chiedo che cosa intendano per *equilibrio*. La prima risposta a bruciapelo è infatti: "Equilibrio è stare ben dritti e non cadere...". Occorrerà dedicare una riflessione con calma un'altra lezione.

G. - Ci sono due significati. Il primo è stare sopra qualcosa con fatica ma non cadere. Il secondo è quello del giardino.

Alla mia richiesta di pensare un esempio diverso, la stessa bambina risponde: ad esempio macchine e bici; troppe macchine inquinano, ma troppe bici vuol dire che spostarsi sarà più faticoso.

M. C. - Equilibrio vuol dire anche che c'è una bilancia con due piatti, su uno metti un sasso grande e il piatto va giù, l'altro piatto con un sasso piccolo e meno pesante sta su. Non c'è equilibrio.

G. G. - Bisogna avere equilibrio anche a tavola. Se mangi troppo rispetto a quello che ti sfama, dopo ti viene sonno e ingrassi.

I. - Anche quando scegli i cibi devi farlo con equilibrio: non troppi grassi, né troppi dolci, né troppa verdura e basta.

G. Ge. - Anche quando ti vesti, non devi copirti esagerando perché avresti troppo caldo, invece se ti copri troppo poco, hai freddo.

A. - Se guardi troppo la TV, ti fanno male gli occhi e ti viene sonno, occorre fare una scelta ragionevole.

M. - Troppi compiti non vanno bene, perché pensi sempre alla scuola. Troppo pochi non ti alleni.

V. - Troppa pioggia provoca allagamenti, troppa poca lascia tutto secco.

M. G. - Ma i due significati della parola equilibrio coincidono perché quando stiamo in equilibrio dobbiamo bilanciare il nostro peso un po' a destra e un po' a sinistra.

Ci si potrebbe soffermare anche sulle conseguenze dell'assenza di equilibrio, nelle diverse situazioni, anche quelle che riguardano la qualità della nostra vita e di quella della Terra. Interrogare le parole ci porta a comprenderne pienamente il significato, ad allargare la visuale e ad assumere un atteggiamento indagatore anche quando ci imbatiamo in altre parole così pervasive. Maria Arcà osserva a questo proposito che "una sistematica abitudine alla discussione scientifica offre molto di più che un appiglio per fornire spiegazioni. Attraverso la discussione i bambini si pongono personalmente dei problemi e imparano ad abbozzare modi di vedere le cose nei quali un certo numero di questioni trovano una risposta convincente. Oltre a questo essi si avvicinano fin da piccoli ad una pratica dialettica continua, arrivando ad apprezzare *il piacere di mettere in discussione* ciò che si pensa, il piacere di confutare altri modi di pensare e quello di riconoscere l'efficacia di una spiegazione di un compagno o dell'insegnante e di farla propria. Non dimentichiamoci che capire le cose – prima di essere un necessario dovere per inserirsi nel mondo culturale che circonda il bambino – è una profonda gratificazione personale"<sup>4</sup>.

### Buone domande e non solo

Se è cruciale porre buone domande, Silvia Caravita osserva tuttavia che "i messaggi non verbali comunicati dall'insegnante sono forse quelli che arrivano più direttamente ai bambini e mostrano la sua emotività e il suo interesse per le cose che si fanno e si dicono"<sup>5</sup>. Dunque il lavoro insieme ai bambini richiede al docente di fare attenzione al modo di stare con loro, al proprio modo personale di porsi: attenzione sì a ciò che dice ma anche a come lo dice. L'interesse, la curiosità, la passione per la disciplina che si insegna e la motivazione a stare a scuola sono trasparenti e sempre ben leggibili dagli alunni, con perspicacia e sensibilità diverse, dall'infanzia alla secondaria. ●

4. Arca M, Mazzoli P, *Cercare risposte a vere domande*, cit.

5. Caravita S, *Attività laboratoriale* "Per la conduzione delle conversazioni con i bambini: le domande dell'insegnante", cit.

**Giovanni Di Benedetto**  
***La primavera che viene.***  
***Attualità di Rosa Luxemburg***  
**Mimesis, 2022**



*“La mia tomba, come la mia vita, non recherà traccia di frasi altisonanti. Sulla lapide della mia tomba non si dovranno leggere che due sillabe: zvi-zvi. È infatti il richiamo della cinciallegra, che io imito così bene da farne accorrere un'enorme quantità, ogni volta che faccio loro il verso. E immagini che in questo zvi-zvi, che prima brillava chiaro e acuto come un ago d'acciaio, c'è da qualche giorno un minuscolo trillo, una piccolissima nota di petto. E sa, signorina Jacob, cosa significa questo? È il primo leggero trasalimento della primavera imminente; nonostante la neve, il gelo e la solitudine, noi – le cinciallegre ed io – crediamo all'arrivo della primavera!”*

(Rosa Luxemburg, Lettera a Mathilde Jacob del 7 febbraio 1917).

Questa citazione fa da esergo a un bellissimo libro su Rosa Luxemburg. Mostra la grande sensibilità di questa donna davvero eccezionale nei confronti della natura e giustifica la mia scelta di recensire il libro per una rivista come *NATURALMENTE*scienza.

Un libro che fa giustizia delle interpretazioni a volte parziali (gli scritti di teoria economica sono stati oggetto di commenti separati rispetto a quelli più strettamente politici), a volte addirittura

“dicotomici” – come scrive Giovanni Di Benedetto – come quelle che hanno contrapposto la Rosa militante e critica intransigente degli scritti pubblici alla Rosa “languida spettatrice delle bellezze naturali” che emerge dalle corrispondenze private. Giovanni Di Benedetto cerca, trova e – devo dire – dimostra la profonda coerenza che informa il pensiero scientifico, politico ed etico di Rosa Luxemburg. Una coerenza che ha tra l'altro il pregio di far emergere gli elementi di originalità. Per quanto interessa in particolare i lettori di questa rivista, è importante segnalare in primo luogo la precoce *coscienza ecologica* – davvero *ante litteram* – di Rosa Luxemburg, che ha almeno due cose da insegnare all'ecologismo contemporaneo. La prima: non tutto il genere umano – e tanto meno i singoli individui – è responsabile dello sfruttamento della natura e del degrado ambientale, lo è il capitalismo. La seconda: i danni ambientali hanno profonde ricadute sociali, dunque occorre sviluppare una coscienza capace di cogliere la profonda solidarietà che lega tutti gli sfruttati – umani e non umani. Lavoratori, popoli assoggettati ed espropriati, soldati mandati al macello, bufali pestati a sangue.

Un altro aspetto davvero degno di nota è l'*etica* che deriva dalla straordinaria sintesi di competenza critica, intelligenza strategica e sensibilità affettiva che caratterizza l'opera di Rosa Luxemburg. Un'etica che definirei senz'altro spinoziana, basata sulla ricerca di una “gioia” (*laetitia*, in Spinoza) fatta di condivisione sociale e di godimento di quanto la natura ci offre. Quel “rimanere umani” di cui scrive, nel 1916, a Mathilde Wurm: “Procura allora di rimanere un *essere umano*. Rimanere un essere umano è la cosa principale. E questo vuol dire rimanere saldi e chiari e *sereni*, sì sereni malgrado tutto [...]. Rimanere umani significa gettare con gioia la propria vita ‘sulla grande bilancia del destino’, quando è necessario farlo, ma nel contempo gioire di ogni giorno di sole e di ogni bella nuvola”. Credere in un futuro di emancipazione, credere nella primavera che viene.

---

## Le domande dei problemi e... sui problemi

Lucia Stelli

---

Solving math problems is a difficult activity for many students. School problems pose artificial situations that lead them to wonder about a context that does not recall their knowledge and experience. Also the question of problems appears contrived and remote from experience. It is therefore necessary that the teacher reflect on the questions that children ask themselves to recognize and propose authentic and significant problems.

Keywords: *Questions and answers, Science teaching in primary school*

---

Scrive Maria Castelli nel suo articolo *Le domande dell'insegnante*: “Le buone domande sono comprensibili dagli alunni, poste in modo da consentire loro di rispondere e sono seguite da un ascolto attento delle risposte”. Le domande dei problemi allora raramente sono “buone”. Prima però di muovere critiche circostanziate, mi preme dire, in virtù della mia lunga esperienza di insegnante, che nella scuola l’attenzione alla comprensibilità delle domande e in generale alla comprensione del testo è rara, tutta da coltivare.

Eppure già da tempo ricercatori e neuroscienziati ci comunicano l’importanza di allenare a una lettura profonda del testo attraverso il porre e porsi domande. Maryanne Wolf, una delle più note neuroscienziate cognitive ci esorta: “Ove sia possibile, un insegnante o un genitore dovrebbe porre domande che conducano i bambini a collegare le proprie conoscenze di base a ciò che leggono, sollecitando così il loro senso di empatia per la prospettiva di un altro spingendoli a fare inferenze a esprimere le proprie analisi, riflessioni, intuizioni”<sup>1</sup>.



1. Wolf M. *Letto, vieni a casa. Il cervello che legge in un mondo digitale*, Vita e Pensiero, 2018.

Porre domande che permettano agli alunni di collegare le loro conoscenze ed esperienze a ciò che leggono è cosa difficilissima se non si è capaci di identificare e ascoltare i loro bisogni. Ancora più difficile se si devono cambiare pratiche consolidate centrate sull'apprendimento **di** qualcosa a scapito dell'apprendimento **da** qualcosa. Ora, i problemi di matematica, tra tutti i tipi di testo affrontati a scuola, sono costruiti per porre domande a chi legge, ma nella maggior parte dei casi sono domande fittizie che assolvono allo scopo di mostrare all'insegnante quello che l'allievo ha imparato su ciò che è stato fatto in classe. Del resto anche le situazioni descritte sono in genere artificiali. Chi non ricorda i problemi sulla mamma che va a comprare uova che si rompono nel tragitto dal mercato a casa, su libri che vengono letti con lo stesso numero di pagine al giorno, su orti dalle forme geometriche più disparate da recintare completamente senza potervi entrare?

Il modello rigido di problema che pervade la pratica didattica, ben descritto da Rosetta Zan nel suo libro *Mio figlio ha paura della matematica*<sup>2</sup>, è caratterizzato in definitiva dall'artificialità del contesto, cioè dalla situazione descritta, e soprattutto dalla mancanza di un legame di senso fra la domanda e il contesto.

La ricerca ha messo in luce le difficoltà di comprensione poste dai testi dei problemi tradizionali che hanno queste caratteristiche.

In particolare l'importanza di un legame di senso fra domanda e contesto è stata evidenziata in modo efficace da Margaret Donaldson nel suo libro *Come ragionano i bambini*<sup>3</sup>.

Le ricerche citate dalla studiosa evidenziano che in mancanza di tale legame i bambini tendono a rispondere a domande diverse, più "naturali" rispetto alla situazione descritta: in un problema standard raramente la domanda finale è una domanda "naturale", cioè è una domanda che una persona si porrebbe nella situazione descritta.

A questo punto proviamo a far chiarezza con un esempio: si tratta di un problema<sup>4</sup> rivolto alla classe quinta della scuola primaria, che rende bene lo "scollamento" evidenziato.

Elena come regalo di Natale per i suoi amici decide di fare dei biscotti al forno.

I biscotti che le serviranno sono: 48 al cioccolato, 68 alle mandorle, 40 con l'uvetta e 52 alla marmellata.

Per riuscire a consegnare i biscotti in tempo deve farne almeno 16 al giorno.

Quanti giorni le servono?

Elena però il primo giorno è particolarmente volenterosa e ne cucina già 32.

Quanti giorni in meno dovrà cucinare?

Per avere un riscontro delle difficoltà a comprendere il testo del problema è stata posta a una classe quinta la seguente richiesta:

"Leggi il testo del problema e poi scrivi le domande che possono aiutarti a comprenderlo".

Ecco che cosa ha scritto Matteo:

1. 16 biscotti al giorno, a che cosa?
  2. 32 biscotti, a cosa?
  3. Non si sa quanti amici sono
  4. Perché consegnare?
  5. E POI COME FA A DIVIDERLI?
  6. I biscotti non sono la stessa quantità, quindi qualcuno non prenderà dei biscotti?
  7. Perché lo fa solo il primo giorno 32 biscotti?
- Matteo è l'alunno che si è posto più domande e le ha anche numerate scrivendo in carattere maiuscolo la domanda n.5, che evidentemente era quella che lo metteva più in difficoltà dal punto di vista matematico.

Altre domande emerse sono:

- Perché così tanti biscotti?
- Perché i biscotti sono a diversi gusti?
- Quanti giorni mancano a Natale?
- Chi consegna i biscotti?

2. Zan R, *Mio figlio ha paura della matematica*, GiuntiEdu, 2021.

3. Donaldson M, *Come ragionano i bambini*, Springer Verlag, 2009.

4. Cornoldi C et al., *AC-MT 6-II*, Trento, Erickson, 2012.

A proposito di quest'ultima domanda Giulia spiega: "Non capisco la parte in cui dice *a consegnare i biscotti* perché all'inizio dice *come regalo di Natale per i suoi amici*, per me tornerebbe se ci fosse scritto *per riuscire a regalare i biscotti*" (come del resto si chiede sinteticamente Matteo nella domanda 4: "Perché consegnare?"). Anche l'uso di una parola al posto di un'altra può generare difficoltà di comprensione!

Indubbiamente dalle domande raccolte emerge il bisogno degli alunni di un realismo autentico e non solo di facciata: in una situazione reale la cosa più naturale sarebbe contare prima di tutto gli amici, stabilire quanti biscotti regalare a ognuno, decidere le varie tipologie e pianificare i tempi. E infatti la domanda più ricorrente nelle risposte degli alunni è "Quanti amici ha Elena?!" Innegabilmente il testo presenta una realtà artefatta. Chi mai deciderebbe di regalare 208 biscotti impegnandosi per 13 giorni facendone solo 16 alla volta, per giunta di tipologie diverse?

Anche la domanda *Quanti giorni le servono?* non è realistica. Elena sa già quanti giorni le serviranno visto che sa di dover fare almeno 16 biscotti al giorno! Ancor più inadeguata è la richiesta *Quanti giorni in meno dovrà cucinare?* Infatti la domanda naturale, suscitata dall'informazione che Elena il primo giorno ha cucinato 32 biscotti, è *Quanti giorni dovrà ancora cucinare?* Ed è questa la domanda a cui ha risposto Giacomo:

La risposta di Giacomo conferma quello che hanno evidenziato le ricerche di Margaret Donaldson: se la domanda non ha un legame di senso con il contesto, i bambini tenderanno a rispondere a una domanda diversa, più naturale.

Più in generale la conoscenza delle cose del mondo posseduta dai bambini li porta a costruirsi una sceneggiatura realistica in cui il problema è decidere quanti biscotti fare e come farli, non ragionare su decisioni già prese e non giustificate. Nel testo originale invece è assente il problema reale: di reale appare solo la richiesta dell'insegnante che vuol accertarsi che l'allievo sappia quali sono le operazioni da fare con i dati numerici presenti nel testo. Il messaggio che passa è che operazioni aritmetiche e realtà viaggiano su strade diverse, ma va percorsa solo quella della matematica. Così facendo si chiede agli alunni di rinunciare a comprendere e alla lunga si legittima una finzione che non solo non diverte, ma annoia perché confinata al contesto scolastico e legata a problemi sempre uguali a se stessi. Quel che è peggio è che si inducono i bambini a mettere in atto una lettura del testo finalizzata alla ricerca dei soli dati numerici e di parole chiave da collegare alle operazioni aritmetiche. Si induce quindi un'abitudine dannosa che porta a trascurare informazioni e relazioni utili per comprendere il testo di un problema e progettare un piano di risoluzione. Sicuramente gli alunni che hanno capito le rego-

I biscotti che le serviranno sono: 48 al cioccolato, 68 alle mandorle, 40 con l'uvetta e 52 alla marmellata. (208 biscotti)

Per riuscire a consegnare i biscotti in tempo deve farne almeno 16 al giorno.

Quanti giorni le servono? (13)

Elena però il primo giorno è particolarmente volenterosa e ne cucina già 32.

Quanti giorni in meno dovrà cucinare? (11)

le del gioco si adeguano e non si pongono tante domande, ma chi cerca di comprendere il testo resta imbrigliato nelle sue maglie di incoerenza e finisce per rinunciare a risolvere il problema. Alla lunga finisce anche per rinunciare a capire la matematica.

Da queste considerazioni emerge un altro aspetto importante dal punto di vista didattico: anche un problema artificioso può essere utilizzato in modo efficace, ad esempio analizzandolo insieme agli alunni. L'attività descritta ha permesso infatti di orientarli verso una lettura profonda, ma soprattutto li ha fatti sentire ascoltati dall'insegnante. Il fatto poi di condividere con i compagni le stesse domande li ha fatti sentire adeguati e inclusi rispetto alla richiesta che era stata loro posta, tutti buoni motivi per investire nella lettura come attività strategica che coordina azioni e strumenti in vista della comprensione. In ambito matematico tale attività acquista ancora più valore in quanto la comprensione è condizione irrinunciabile per utilizzare le informazioni in modo produttivo.

Anche l'insegnante trae un enorme vantaggio da tale attività, in particolare perché è costretto a riflettere sulle domande poste dagli alunni e indotto a riflettere sulla distinzione tra "buone" e "cattive" domande.

L'attenzione alle "buone" domande e al realismo del contesto caratterizzano i problemi proposti dal progetto di Giunti Scuola *Problemi al centro* curato da Rosetta Zan e Pietro Di Martino dell'Università di Pisa<sup>5</sup>. Come traspare dal titolo, il progetto, rivolto alla scuola primaria, mette al centro dell'insegnamento della matematica i problemi, come del resto era già stato raccomandato nei programmi ministeriali del 1985<sup>6</sup> che puntualizzavano: "...le nozioni matematiche di base vanno fondate e costruite partendo da situazioni problematiche concrete, che scaturiscano da esperienze reali del fanciullo e che offrano anche l'opportu-

nità di accertare quali apprendimenti matematici egli ha in precedenza realizzato, quali strumenti e quali strategie risolutive utilizza e quali sono le difficoltà che incontra".

Più recentemente le Indicazioni nazionali<sup>7</sup> rimarcano la centralità dei problemi nella pratica didattica e specificano che "devono essere intesi come questioni autentiche e significative, legate alla vita quotidiana". Purtroppo come abbiamo visto raramente le situazioni concrete descritte nei problemi sono realmente problematiche: il problema semmai è esterno, nasce per il bambino che deve rispondere alla domanda, con le gravi conseguenze che questo ha sulla costruzione del rapporto con la matematica.

Con *Problemi al centro* i curatori intendono colmare tale vuoto per promuovere negli allievi un atteggiamento positivo verso la matematica intervenendo fin dall'inizio della scuola primaria per evitare che costruiscano un'idea distorta di problema, in particolare la convinzione che i problemi di matematica non hanno nulla a che fare con la realtà.

A titolo di esempio riportiamo alla pagina seguente il problema *Un regalo per la nonna* proposto per la classe prima.

Con questo tipo di testo - che conclude il percorso introduttivo all'idea stessa di problema - si vuole promuovere l'idea di problema di matematica quale problema reale la cui soluzione richiede l'uso della matematica. Il testo non chiede in modo esplicito "Quanti soldi hanno insieme Anna e Marco" come farebbe un problema standard, ma l'autenticità della situazione farà sì che i bambini si pongano spontaneamente tale domanda per decidere se i soldi bastano per acquistare il profumo. Come sottolineano i curatori del progetto, la scelta di chiamare in causa l'alunno con la domanda "Secondo te, bastano i soldi che hanno Anna e Marco per comprare il profumo"?

5. Di Martino P, Zan R, *Problemi al centro. Matematica senza paura*, [www.giuntiscuola.it/progetto-problemi-al-centro](http://www.giuntiscuola.it/progetto-problemi-al-centro)

6. Programmi della Scuola Elementare [www.edscuola.it/archivio/norme/programmi/elementare.html#MATEMATICA](http://www.edscuola.it/archivio/norme/programmi/elementare.html#MATEMATICA)

7. *Indicazioni nazionali per il curricolo*, Annali della pubblica Istruzione, p. 60, Firenze, Le Monnier, 2012.



**UN REGALO PER LA NONNA**

ANNA E MARCO VORREBBERO COMPRARE PER IL COMPLEANNO DELLA NONNA UN PROFUMO CHE SI CHIAMA "GELSOMINO".

SI SONO INFORMATI IN UNA PROFUMERIA E HANNO VISTO CHE LA CONFEZIONE PIÙ PICCOLA COSTA 12 EURO.

ANNA HA 9 EURO E MARCO HA 5 EURO.

MARCO PERÒ È TIMIDO E SI VERGOGNA SE ENTRANO IN PROFUMERIA E POI NON POSSONO COMPRARE IL PROFUMO PERCHÉ NON HANNO ABBASTANZA SOLDI. PRIMA DI ENTRARE VUOLE ESSERE SICURO CHE I SOLDI BASTERANNO.

ALLORA CHIEDE AD ANNA:

«MA CI BASTERANNO I SOLDI CHE ABBIAMO?»

- SECONDO TE I SOLDI CHE HANNO ANNA E MARCO PER COMPRARE IL PROFUMO BASTANO OPPURE NON BASTANO?



è strategica. Permette infatti di richiamare il vissuto del bambino, favorire la comprensione del problema, mobilitare le sue risorse, tutti obiettivi fondamentali dell'educazione matematica, a prescindere dalla correttezza o completezza della risposta. Inoltre la scelta di una somma totale maggiore del costo suscita un'ulteriore domanda, che può attivare riflessioni e processi significativi: "Secondo te, quanti soldi dovrebbe mettere Anna e quanti Marco?".

Non ci sono risposte giuste o risposte sbagliate a questa domanda e questo permette ai bambini di mettere in gioco e poi argomentare le proprie opinioni personali e i propri valori, e di prevenire lo stereotipo che ogni problema di matematica ha esattamente una soluzione.

Non tutti i problemi del progetto (al momento

50) sono di tipo narrativo con protagonisti reali o fantastici, ce ne sono anche altri tutti interni alla matematica.

L'esempio che segue *Conta le stelle* è uno di questi. Prende le mosse da una domanda di livello 2 del test Invalsi 2013<sup>8</sup> a cui è stata aggiunta una seconda domanda sulla modalità di conteggio suggerita dalle diverse risposte messe in atto dagli alunni. Si tratta di una "buona" domanda perché favorisce lo spostamento dell'attenzione dalla risposta corretta alle strategie di conteggio e contribuisce a potenziarle.

**CONTA LE STELLE**

- Quante sono le stelle?



- Spiega come le hai contate.

---



---



---



---



---

- Disegna ora le stelline in un modo che sia più facile per un altro bambino contarle.



Le buone domande aprono nuove prospettive e fin dall'inizio della scuola primaria, ma anche della scuola dell'infanzia, gettano le basi per costruire una matematica ricca di idee, ragiona-

8. Archivio interattivo delle prove Invalsi [www.gestinv.it/Index.aspx](http://www.gestinv.it/Index.aspx)

menti, spirito critico, collaborazione, in definitiva un mondo nuovo tutto da esplorare e da cui si impara moltissimo. Inoltre, sia che si tratti di problemi narrativi che di problemi matematici che pongono sfide per la mente, la condivisione e discussione delle risposte raccolte, momento cruciale dell'attività di problem solving, permette di lavorare anche su competenze trasversali significative, quali la capacità di esplicitare le strategie adottate, la capacità di ascoltare e valutare le strategie altrui.

Per concludere, se vogliamo un insegnamento/apprendimento autentico, coerente con le Indicazioni nazionali e con i bisogni degli alunni, dobbiamo prima di tutto essere disposti a mettere in crisi le nostre convinzioni e le nostre abitudini, ad accogliere le domande dei bambini, a fare nostre le loro curiosità e superare la paura di non saper gestire le incognite.

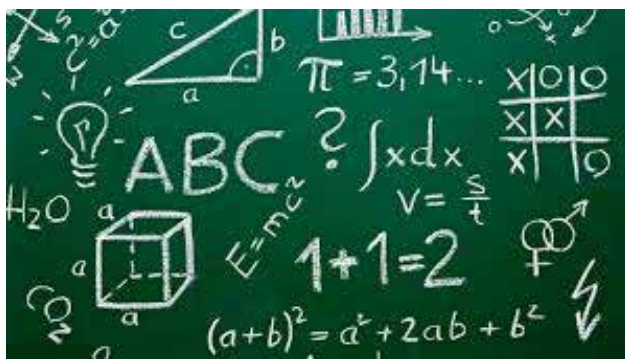
Nella ricerca di buone domande, i nostri alunni hanno molto da insegnarci. ●



*Problemi al centro. Matematica senza paura* è un progetto che ha l'obiettivo di promuovere negli allievi un atteggiamento positivo verso la matematica, una disciplina d'idee, ragionamenti, creatività, comunicazione e spirito critico.

Insegnare matematica nella scuola primaria è un compito molto importante perché è a questo livello scolare che il bambino comincia a costruire le conoscenze e le competenze su cui andrà ad ancorare le proprie convinzioni sulla disciplina e su di sé in relazione alla matematica.

Con i problemi proposti dal progetto il docente potrà accompagnare i bambini nella costruzione di un rapporto non ansioso o conflittuale con la matematica, anche attraverso strategie didattiche sperimentate con successo negli anni. Tali strategie si basano su una scelta di fondo, così cruciale da dare titolo al progetto: mettere i problemi al centro della pratica didattica. È infatti attraverso l'attività con i problemi che si sviluppano competenze fondamentali per la crescita e si può promuovere nei bambini un'adeguata visione della matematica.



## Hanno collaborato a questo numero:

**Pietro Barbucci** è un esperto di tecnologie energetiche e ambientali. Laureato in ingegneria nucleare, ex dirigente della Ricerca dell' Enel, si è occupato per oltre 40 anni di tecnologie innovative di generazione elettrica. Ha organizzato e diretto gruppi di ricerca e progetti di innovazione prima nel settore nucleare poi in quello delle energie rinnovabili. Andato in pensione, ha conseguito la laurea triennale in Scienze dei beni culturali e quella magistrale in Storia dell'Arte, con una tesi su Piero della Francesca.

**Giambattista Bello**, naturalista e biologo marino, specializzato in biostatistica e teologia, ha lavorato presso il Laboratorio di Biologia Marina di Bari e, quindi, col gruppo Grandi Pelagici della Facoltà di Veterinaria dell'Università di Bari. Dedicò parte delle sue energie alla divulgazione scientifica; ha scritto i libri *Il mare e il pescatore* (Provincia di Bari) e *Polpo di scena* (Adda Editore, Bari).

**Maria Castelli**, laureata in Scienze naturali, è stata insegnante nella scuola Primaria. Ha partecipato alla stesura delle Indicazioni nazionali (2007) e al Piano ISS come formatrice e nel comitato scientifico.

**Mathia Coco**, fotografo di professione che incentra i propri reportage sulla fauna di particolare interesse conservazionistico, sulle problematiche ambientali ed il rapporto tra uomo e natura. I suoi racconti nascono in Sicilia, terra in cui vive, e in giro per il mondo con l'obiettivo di documentare e raccontare storie di particolare interesse e puntare i riflettori su tematiche sempre più centrali nella nostra convivenza sul pianeta.

**Fabio Fantini**, già docente di scienze naturali, chimica e geografia, autore e collaboratore della Italo Bovolenta Editore, ha contribuito a costituire il Gruppo Olimpiadi delle Scienze dell'ANISN e ne ha fatto parte fino al 2019; è stato membro della redazione della rivista *Naturalmente* a partire dal 2005 e della redazione di *Naturalmente Scienza* fin dall'origine.

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

**Irene Gatti**, insegnante di Fisica e laboratorio e successivamente dirigente scolastico, esperta del settore educativo, si è occupata della didattica e della formazione dei docenti nell'insegnamento scientifico, in collaborazione con la cattedra di Didattica della Fisica della Sapienza e con altre istituzioni. Dal 1998 al 2009 ha lavorato presso il Ministero della Pubblica Istruzione nella task-force per l'autonomia scolastica, si è occupata di piani per la formazione dei docenti e di numerosi temi di politiche educative. Ha coordinato poi il Piano ISS (Insegnare Scienze Sperimentali) come membro del Comitato scientifico e del Gruppo di pilotaggio nazionale, curandone aspetti organizzativi, gestionali, amministrativi e relazioni interne ed esterne. Col-

labora con il CIOFS come membro del Comitato scientifico per l'ideazione del Seminario Europa e la stesura degli atti.

**Renzo Ientile**, dottore in Scienze Naturali, dottore di ricerca in Biologia evolutiva, ornitologo, inanellatore, attualmente lavora per l'Università di Catania, ricopre il ruolo di direttore della Riserva Naturale regionale "Vallone di Piano della Corte" di Agira (Enna). Ha lavorato per il progetto di reintroduzione del Pollo sultano in Sicilia, progetto premiato con il "Panda d'oro" nel 2006 dal WWF. È autore di oltre 50 contributi scientifici su riviste nazionali e internazionali.

**Joachim Langeneck**, assegnista di ricerca in biologia presso l'Università di Pisa. La sua ricerca si concentra principalmente sullo studio di processi evolutivi negli invertebrati marini, con sporadiche incursioni nell'ambito dell'etica della scienza, in particolare a livello divulgativo.

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

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

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

**Lucia Stelli**, laureata in Scienze Biologiche, è stata docente di Matematica e Scienze nella Scuola Secondaria di I Grado. Ha partecipato come formatrice a numerosi progetti per l'educazione matematico-scientifica. Fa parte del Gruppo di Ricerca e Sperimentazione in Didattica della Matematica presso l'Università di Pisa. È esperto didattico scientifico del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

**Giovanni e Renzo Stimolo**, due fratelli di Altamura (BA), amanti della natura e costantemente alla ricerca di scampoli di wilderness. Escursionisti oltre che fotografi naturalisti, attualmente soci dell'AFNI, Associazione Fotografi Naturalisti Italiani.

**Vincenzo Terreni**, laureato in Biologia, ha insegnato a Pontedera curando i siti Scienze a Scuola, *Naturalmente Scienza*, Laboratorio Didattico Territoriale. Si occupa di formazione per docenti di Scienze sperimentali.

