

# naturalmente scienza

febbraio 2023

anno 4

numero 1

quadrimestrale



## in questo numero:

**IN PRIMO PIANO:** *Prospettive per lo sviluppo dell'energia nucleare* di Emilio Santoro • *Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata. Parte prima: la minaccia nucleare* di Angelo Baracca • *Fusione (e confusione) nucleare* di Angelo Baracca e Giorgio Ferrari • **RITRATTO DI FAMIGLIA:** *Titonidae* di Marco Mastrorilli • **FOCUS:** *L'AMP che non c'è* di Andrea Fantini e Gilberto Stacchiotti • *Il mare del Conero: una ricchezza (anche economica) da proteggere* di Emanuela Fanelli • *Paesaggi sonori sottomarini dell'area del Conero e dell'alto Mediterraneo* di Iole Leonori e Fantina Matricardo • **UNO SCATTO ALLA NATURA:** *Lite tra svassi e folaga* di Stefania Capelli • **CONTRIBUTI:** *Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata. Parte seconda: la crisi climatica* di Angelo Baracca • *La conferenza sul cambiamento climatico e la questione energetica* di Yuri Galletti • *Il cervello che (non) dorme* di Giulio Bernardi • *Frasassi: la piccola grande storia delle grotte* di Alessandro Montanari e Gaia Pignocchi • **FARE SCUOLA:** *Il progetto ArAl: un intreccio tra Aritmetica e Algebra* di Lucia Stelli • *Pensando alla matematica* di Matej Brešar

*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:

*In balia degli elementi (Parco Nazionale del Pollino)*,  
foto di Giovanni e Renzo Stimolo

*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

Cari lettori,

questo numero riprende la discussione iniziata con il “Primo piano” del numero precedente sull’energia nucleare ad uso civile. Si tratta di un argomento difficile da maneggiare per l’intrinseca complessità e per la vastità delle tipologie di impianti che sono in funzione e in studio. In Italia la fonte nucleare di energia venne bandita con un referendum che si tenne poco dopo l’incidente di Černobyl’. Anche per gli incidenti nucleari c’è una scala di valutazione della gravità, chiamata INES (*International Nuclear Event Scale*) e messa a punto dall’IAEA (*International Atomic Energy Agency*). La scala prevede sette livelli e l’incidente di Černobyl’ del 1986 venne collocato al massimo della pericolosità: incidente molto grave con fuoriuscita di materiale radioattivo ed effetti nocivi anche lontani dalla centrale, con un’area di pericolosità talmente elevata da evacuare la popolazione a tempo indefinito. Nel 2011 a Fukushima si è ripetuto un episodio collocato al massimo livello della scala INES, causato da un sisma di magnitudo 7.3. Il conseguente tsunami distruttivo superò tutti gli sbarramenti fino a danneggiare irrimediabilmente tre impianti di raffreddamento. A causa di fughe di idrogeno, si verificarono esplosioni che determinarono lo scoperchiamento di alcuni edifici. Una tragedia biblica. Gli incidenti nucleari sono sempre meno frequenti, ma quando si verificano gli effetti si fanno sentire. Le misure di sicurezza sono talmente cresciute da aumentare anche la percezione di sicurezza da parte dei cittadini. Emanuele Santoro, in *Prospettive per lo sviluppo dell’energia nucleare*, riflette sulle conseguenze della “decisione di inserire la produzione elettrica da fonte nucleare nella tassonomia europea *green*”, una decisione che “apre nuovi scenari per la risoluzione sia della crisi climatica che di quella della sostenibilità energetica”. Santoro riflette anche sugli incidenti nucleari escludendo la possibilità di una nuova Černobyl’ per questioni fisiche e tecnologiche, anche se “mai fino ad ora si era fatto un folle tiro al bersaglio con un impianto nucleare”, non confronta la convenienza del ricorso all’energia rinnovabile rispetto a quella nucleare, perché ritiene che occorreranno certamente entrambe nel futuro. I piccoli reattori modulari SRM possono produrre una grande quantità di elettricità a bassa emissione di CO<sub>2</sub> con manutenzione periodica ridotta. Le prospettive del nucleare di fusione, nonostante notizie di stampa troppo sbrigative ed entusiastiche, non sembrano destinate a concretizzarsi in tempi brevi. Su questo argomento Angelo Baracca e Giorgio Ferrari, in *Fusione (e confusione) nucleare*, si dedicano ad una disamina molto ampia della nascita e della situazione attuale dell’energia nucleare derivata dalla fusione. Il titolo dell’articolo fa presente la situazione di scarsa conoscenza dell’argomento e la sua lettura aiuterà certamente a comprendere meglio la situazione nella quale ci troviamo. Angelo Baracca in *Sull’orlo del precipizio: ultima chiamata, la minaccia nucleare* affronta il problema dell’energia nucleare utilizzata per fini bellici e come deterrente. Si sofferma sui pericoli generati dalla presenza di migliaia di ordigni puntati in ogni direzione e della minaccia di usarli nel conflitto tra Russia e Ucraina. Il parere dell’Autore appare negativo senza appello anche sul possibile uso dell’energia nucleare per fini civili.

Abbiamo cercato di proporre ai lettori una visione ampia e sfaccettata del problema dell’uso dell’energia nucleare per integrare le fonti di approvvigionamento rinnovabili allo scopo di limitare la produzione di CO<sub>2</sub> e quantomeno di non peggiorare ulteriormente gli equilibri climatici planetari. I pareri degli specialisti che ospitiamo non sono uniformi, ma possono servire come base per formarne di propri.

Se quello su cui ci siamo concentrati è l’argomento della rubrica “Primo piano”, non mancano spunti di interesse neanche negli altri articoli, che spaziano dai problemi di un’Area Marina Protetta che si sarebbe dovuto istituire già da tempo, alla “lettura” dei sogni tramite l’analisi dell’attività cerebrale, da un monumento naturale che offre lo spunto per uno stimolante esercizio di Big History alle usuali rubriche naturalistiche, fino al settore dedicato alle attività scolastiche, che continua a mettere il dito nella più dolente delle piaghe, vale a dire l’insegnamento della matematica in particolare nella scuola primaria. Ce ne è per tutti! Buona lettura.

## SOMMARIO

### IN PRIMO PIANO: IL DIBATTITO SUL NUCLEARE

Prospettive per lo sviluppo dell'energia nucleare <i>di Emilio Santoro</i> .....	5
Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata. Parte prima: la minaccia nucleare <i>di Angelo Baracca</i> .....	9
Fusione (e confusione) nucleare <i>di Angelo Baracca e Giorgio Ferrari</i> .....	13

### RITRATTO DI FAMIGLIA

Tytonidae <i>di Marco Mastrorilli</i> .....	19
--	----

### FOCUS: I TRAVAGLI DI UN'AREA PROTETTA

L'AMP che non c'è <i>di Andrea Fantini e Gilberto Stacchiotti</i> .....	25
Il mare del Conero: una ricchezza (anche economica) da proteggere <i>di Emanuela Fanelli</i> .....	30
Paesaggi sonori sottomarini dell'area del Conero e dell'alto Mediterraneo <i>di Iole Leonori e Fantina Matricardo</i> .....	37

### UNO SCATTO ALLA NATURA

Lite tra svassi e folaga <i>di Stefania Capelli</i> .....	41
--	----

### CONTRIBUTI

Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata. Parte seconda: la crisi climatica <i>di Angelo Baracca</i> .....	43
La conferenza sul cambiamento climatico e la questione energetica <i>di Yuri Galletti</i> .....	47
Il cervello che (non) dorme. Parte seconda: manipolare il sonno e i sogni <i>di Giulio Bernardi</i> .....	51
Frasassi: la piccola grande storia delle grotte <i>di Alessandro Montanari e Gaia Pignochi</i> .....	60

### FARE SCUOLA

Il progetto ArAl: un intreccio tra Aritmetica e Algebra <i>di Lucia Stelli</i> .....	69
Pensando alla matematica. Parte seconda <i>di Matej Brešar</i> .....	75

## Prospettive per lo sviluppo dell'energia nucleare

Emilio Santoro

The decision to include electricity production from nuclear sources in the European green taxonomy opens up new scenarios for solving both the climate crisis and that of energy sustainability.

Keywords: *Nuclear energy, European green taxonomy*

Ammettiamolo: dal punto di vista squisitamente psicologico, il problema dell'energia nucleare e della sua accettabilità non riguarda tanto la sua maturità tecnologica. È più che altro una questione di... “cosciezza”.

Soprattutto questi mesi trascorsi nel bombardamento continuo di notizie provenienti dal teatro di un'assurda e sanguinosa guerra (e di bombardamenti tragicamente veri) e il mio coinvolgimento da parte dei mass media per tentare di fornire chiarimenti sui rischi reali di incidenti che possano coinvolgere i reattori presenti nello scenario bellico, mi hanno permesso di approfondire il tema della “paura nucleare”. È un po' come premere su un livido causato da un vecchio trauma: comporta dolore. E noi ci portiamo dentro ancora un grande “ematoma nucleare” non riassorbito: Chernobyl. La guerra in Ucraina ha permesso di mostrare questo aspetto particolare, perché ormai è passata l'equazione: (qualunque) incidente nucleare uguale Chernobyl.

Più volte, in varie interviste, ho cercato di tranquillizzare lettori e ascoltatori sul rischio di “un'altra Chernobyl con catastrofici effetti planetari”. Certo, non ho escluso la possibilità che in un teatro bellico possano verificarsi situazioni di rischio incidentale: mai, fino a ora, si era fatto un folle tiro al bersaglio con un impianto nucleare. Ma ho sempre cercato di dimostrare la quasi impossibilità fisica e tecnologica che un incidente indotto da un bombardamento possa produrre uno scenario “Chernobyl-like”. Per il semplice fatto che i reattori della filiera RBMK che hanno generato quell'incidente nel 1986 non sono (per fortuna!) più attivi. Un malaugurato incidente, anche nella sua espressione più severa, comporterebbe un limitato scenario di contaminazione, sicuramente non transfrontaliero come quello del 1986. Ma non è questa la sede per riproporre i motivi di questa analisi. È il livido Chernobyl che continua a non riassorbirsi e a impedirci di modificare la nostra ottica per renderla più obiettiva possibile.



Come premessa, non affronterò qui la questione del confronto tra la convenienza energetica rinnovabile rispetto a quella nucleare. Dal mio punto di vista, si tratta di un non-problema. Semplicemente perché occorrono (occorreranno) certamente entrambe, in futuro. Come indicato anche dalla IEA (International Energy Agency), sarà la stabilità della rete a richiederlo. L'*Economist*, riferendosi a un report IEA, suggerisce che sarebbe meglio installare le rinnovabili per sostituire la fonte fossile che utilizzare le rinnovabili per sostituire la fonte nucleare. Sembrerebbe una contraddizione logica, ma non è così, a ben vedere. In gioco c'è chiaramente il problema dei costi. Ma a mio avviso l'errore che si fa è di non chiarire di quale tecnologia nucleare si stia parlando.

La tecnologia nucleare evolve in modo darwiniano. Stiamo attraversando il periodo storico che coinvolge un cambio generazionale: si sta passando infatti dalla ormai storica seconda generazione, ancora la più diffusa, alla terza ("plus", tipo EPR, European Pressurized Reactor), con un occhio a quella del futuro, non più evolutiva bensì innovativa: la famosa quarta generazione, una collaborazione internazionale (Generation IV International Forum, "Gen Four") che vedrà la luce fra dieci-quinici anni.

In Finlandia, a Olkiluoto, è operativo un EPR e un altro lo si sta installando in Francia, a Flamanville. Due impianti di terza generazione sono operativi in Cina, a Taishan. A parte la più alta efficienza energetica, la sicurezza di questi reattori è l'aspetto di maggiore importanza, che deriva dall'esistenza di ben quattro sistemi indipendenti di refrigerazione d'emergenza, con la presenza di un "core catcher" per il sequestro e lo stoccaggio di materiale radioattivo fuso in caso di incidente severo. Per quanto riguarda il problema dei rifiuti, in tale contesto aumenterebbe l'efficienza di separazione della componente a maggior radiotossicità per un più ragionevole stoccaggio.

La prospettiva a più ampio raggio, come abbiamo visto, riguarda però la quarta generazione, la cui ingegnerizzazione dovrà fondarsi su una ben

definita filosofia. Si tratta di sistemi nucleari che dovranno essere autorizzati, costruiti e fatti funzionare in maniera tale da poter fornire energia in modo economico, tenendo in debito conto un ottimale uso delle risorse e al tempo stesso affrontando i problemi di sicurezza, dei rifiuti, di resistenza alla proliferazione e le preoccupazioni del pubblico in quei paesi dove tali sistemi verranno impiegati.

L'esigenza per il nucleare di essere "durevole" (cioè di permettere la conservazione delle risorse) è uno dei maggiori obiettivi. La riduzione dei rifiuti e del rischio di proliferazione sono criteri altrettanto importanti quanto la sicurezza e l'aspetto economico. Si possono infatti riassumere principalmente in quattro punti gli obiettivi della quarta generazione:

- *Sostenibilità*: rispetto dei requisiti ambientali, ottimizzazione dello sfruttamento del combustibile, minimizzazione dei rifiuti e riduzione della vita media dei rifiuti a maggior radiotossicità;
  - *Economicità*: bassi costi del ciclo di vita e rischi finanziari competitivi con altre fonti energetiche;
  - *Sicurezza e affidabilità*: eccellenza nei criteri di sicurezza e di affidabilità, bassissima probabilità di danneggiamento del combustibile, eliminazione della necessità dei piani di evacuazione;
- Resistenza alla proliferazione e protezione fisica*: scarsa attrattiva per la diversione del materiale strategico, elevata protezione da attacchi terroristici.

Grande interesse si sta concentrando anche sulla filosofia dei piccoli reattori modulari, i cosiddetti



Small Modular Reactor (SMR). Si tratta di reattori nucleari avanzati con una capacità di potenza fino a 300 MW elettrici per unità (un terzo circa della capacità di generazione dei reattori nucleari tradizionali). Gli SMR, che possono produrre una grande quantità di elettricità a basse emissioni di carbonio, sono infatti:

- *Piccoli*: fisicamente, una frazione delle dimensioni di un reattore nucleare convenzionale.
- *Modulari*: si assemblano in fabbrica sistemi e componenti per trasportarli come unità nel luogo di installazione.
- *Reattori*: si sfrutta la fissione nucleare per generare calore al fine di produrre energia.

Dato il loro ingombro ridotto, gli SMR possono essere collocati in luoghi non adatti alle centrali nucleari più grandi. Le unità prefabbricate di SMR possono essere prodotte e quindi spedite e installate in loco, rendendole più convenienti da costruire rispetto ai grandi reattori di potenza, che sono spesso progettati su misura per una particolare posizione, a volte portando a ritardi nella loro costruzione. Gli SMR offrono risparmi in termini di costi e di tempi di costruzione e possono essere implementati in modo incrementale per soddisfare la crescente domanda di energia. Rispetto ai reattori esistenti, i progetti SMR proposti sono generalmente più semplici e il concetto di sicurezza per gli SMR spesso si basa maggiormente sui sistemi passivi e sulle caratteristiche di sicurezza intrinseche del reattore, come la bassa potenza o la pressione di esercizio. Ciò significa che in questi casi non è richiesto alcun intervento umano o forza esterna per spegnere tali reattori, perché i sistemi passivi si basano su fenomeni fisici, come la circolazione naturale, la convezione, la gravità, etc. Questi maggiori margini di sicurezza, in alcuni casi, eliminano o riducono significativamente il potenziale di rilascio di radioattività nell'ambiente in caso di incidente. Gli SMR presentano un ridotto fabbisogno di combustibile. Le centrali elettriche basate su SMR possono richiedere un rifornimento meno frequente, ogni 3-7 anni, rispetto a 1-2 anni per gli impianti convenzionali. Alcuni SMR sono

progettati per funzionare addirittura fino a 30 anni senza rifornimento.

Una settantina sono gli attuali progetti commerciali di ingegnerizzazione degli SMR che potranno vedere la luce forse entro questo decennio. La vera sfida sta comunque nella dimostrazione della loro reale competitività economica.

La scelta della miniaturizzazione degli impianti nucleari va anche nella direzione dei microreattori, da installare laddove sia impossibile l'utilizzo di qualsiasi altra fonte energetica. È indubbio che il nuovo impulso all'esplorazione spaziale stia dando nuova linfa a questa particolare linea di ricerca nel settore nucleare.

Non si può concludere una panoramica sull'utilizzo della fonte energetica nucleare senza aggiungere qualcosa sull'altra modalità con la quale ottenere energia dalle reazioni nucleari, che prevede non la suddivisione (fissione) di nuclei atomici pesanti, bensì il legame (fusione) tra nuclei più leggeri, come l'idrogeno.

L'ostacolo più importante di questa tecnologia è dato dal fatto che per legare insieme i protoni dell'idrogeno, che hanno carica positiva, occorre tantissima energia. Che si ottiene o scaldando un sistema (plasma) a centinaia di milioni di gradi intrappolandolo in un campo magnetico (fusione a confinamento magnetico) o comprimendo con potentissimi raggi laser una goccia contenente una miscela di isotopi dell'idrogeno (fusione a confinamento inerziale).

Entrambi i sistemi si stanno sviluppando ormai da decenni e poco alla volta ci si sta avvicinando al punto di pareggio tra l'energia spesa e quella ottenuta dalla reazione. L'Europa, con una grande partecipazione italiana, sta costruendo in Francia il reattore ITER per dimostrare la fattibilità scientifica della fusione, mentre negli Stati Uniti, più confidenti nei programmi a confinamento inerziale per il grande impulso dato alla tecnologia laser di ultrapotenza, ha dimostrato proprio un mese fa la fattibilità scientifica della fusione ottenendo al NIF (National Ignition Facility al Lawrence Livermore National Laboratory) il 50% di energia in più rispetto a quella della luce

laser utilizzata. Un risultato storico eclatante, ma in questo computo resta comunque esclusa l'energia utilizzata a monte per accendere i laser. Si è quindi ancora lontani da un punto di pareggio complessivo, anche se il risultato ottenuto dimostra che la fisica della reazione di fusione offre delle grandi opportunità di sfruttamento energetico.

Siamo però ancora all'inizio. Ci vorranno alcuni decenni per una tecnologia fusionista matura. Molto probabilmente, arriverà prima la quarta generazione e di certo gli SMR o i microreattori

troveranno già la loro collocazione nei luoghi o in quei settori energivori ed energeticamente critici. In futuro, in base alla localizzazione e alla domanda, sarà l'integrazione delle diverse fonti energetiche sostenibili, compresa quella rinnovabile propriamente detta, a garantire la continuità del progresso sociale ed economico del pianeta. Nessuna potrà sostituirsi totalmente alle altre. Perché nessun'altra opzione è accettabile per garantire il rispetto dell'ambiente dove vivono otto miliardi di persone che chiedono e che continueranno a chiedere sempre maggiore energia. ●

**Luigi De Paoli**  
*L'energia nucleare*

**Il Mulino, Bologna 2011**



Luigi De Paoli  
**L'energia nucleare**



Conti e letterfici  
di una tecnologia controversa

Nata sotto la cattiva stella dell'arma che può distruggere il mondo, l'energia nucleare ha sempre attirato grandi consensi e grandi rifiuti. Da qualche anno si parla di "rinascimento nucleare" poiché questa fonte sembra rispondere non solo alla crescente domanda di energia mondiale, ma anche all'esigenza di produrre elettricità senza emettere gas serra. Ma è vero che il nucleare conviene e può contribuire allo sviluppo sostenibile? Oppure il rischio di emissioni radioattive e il problema delle scorie da smaltire ce ne devono tenere lontani? Le risposte a queste domande sono fondamentali anche per decidere se convenga al nostro paese riprendere la strada interrotta più di venti anni fa, dopo i tre referendum del 1987.

Il libro non è aggiornatissimo, ma rappresenta una buona ed equilibrata introduzione a queste tematiche.

**Andrea Candela**  
*Storia ambientale dell'energia nucleare*  
*Gli anni della contestazione*

**Mimesis edizioni, Milano 2017**



L'energia nucleare e le relative applicazioni tanto militari quanto civili, da oltre mezzo secolo, circoscrivono uno dei temi più controversi e dibattuti del confronto scientifico, politico e culturale. Una contesa di lunga durata dalle intonazioni spesso aggressive, che schiusasi tragicamente con l'evento "periodizzante" delle Atomiche su Hiroshima e Nagasaki, ha accompagnato senza alcuna soluzione di continuità l'intera fase della Guerra fredda, estendendosi fino alle soglie del nuovo millennio e oltre.

Sulla base di un'ampia documentazione archivistica e rifacendosi ai criteri della storia ambientale, il libro ne ripercorre soprattutto le vicende che hanno punteggiato la complessa stagione del Sessantotto e dei successivi anni Settanta: un periodo storico animato da forti conflitti e violente contestazioni, ma anche dalla piena maturazione, nonché larga diffusione, delle scienze ecologiche.

---

## Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata.

### Parte prima: la minaccia nucleare

Humanity is on the verge of an abyss: it would be the first living species to prepare its own self-destruction, which among other things is also leading to the extinction of countless other living species, as well as the devastation of the natural environment. The epochal threats can schematically be traced back to two main ones, both the work of human society, developed by that homo who defined himself with great presumption as sapiens, even emphasizing sapiens sapiens, for that modernity of which he is proud, which however has the other side of the inhuman exploitation of a considerable part of his fellow humans and of nature for profit.

Keywords: *Self-destruction of humanity, Nuclear risk*

---

Angelo Baracca

---

La minaccia dell'annientamento nucleare grava sull'umanità dal 1945: se Prometeo ruba il fuoco degli Dei per darlo agli uomini per il loro progresso, invece l'utilizzazione dell'energia nucleare fu realizzata durante la II guerra mondiale per sviluppare l'arma "fine di mondo" (per usare un termine del capolavoro di Stanley Kubrik, *Il Dottor Stranamore*). La demenza di questa scelta risulta evidente dal momento che essa ha realizzato la possibilità concreta dell'auto-annientamento della civiltà umana!

In decenni di impegno antinucleare mi sono definitivamente convinto che la scelta di sviluppare la tecnologia per sfruttare l'energia racchiusa nel nucleo dell'atomo ha costituito il più grande errore della presunzione umana: errore ormai irreversibile avendo prodotto quantità colossali di residui nucleari che rimarranno estremamente pericolosi per decine o centinaia di migliaia di anni, e sopravviveranno presumibilmente all'esistenza stessa della società umana<sup>1</sup>. Si badi bene, non dico che sia stato un errore lo studio delle proprietà del nucleo atomico, che ha dischiuso orizzonti scientifici e conoscitivi che hanno rivoluzionato radicalmente le nostre conoscenze: ma non c'era bisogno di sviluppare invece la tecnologia per estrarre e utilizzare le enormi energie racchiuse nei nuclei, fra l'altro *in primis* per fini bellici (le applicazioni che io chiamo comunque "incivili" vennero più tardi). Del resto fu Robert Oppenheimer a dichiarare dopo il *Trinity Test*<sup>2</sup> del 16 lu-



1. Rimando a una mia accurata rassegna del 2018: Baracca A, *The unsustainable legacy of the Atomic Age*, ArXiv, 23 ottobre 2018, <https://arxiv.org/pdf/1812.02332.pdf>

2. A dare il nome *Trinity* al primo test nucleare fu proprio Oppenheimer, il quale coltivava molti interessi letterari e verso la spiritualità Hindu, la *Bhagavad Gītā* (breve poema

sanscrito inserito nel grande poema epico *Mahābhārata*, contiene praticamente tutte le tradizioni normative, religiose, mistiche e meta-storiche dell'India antica, denominata "il Vangelo dell'India": nel

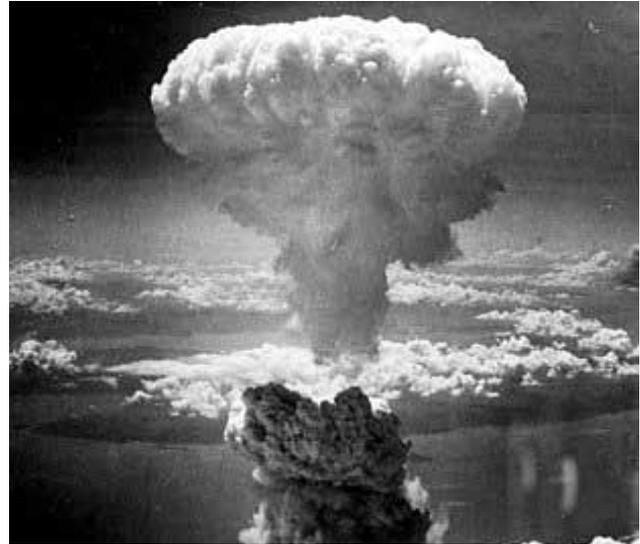
glio 1945 “*La fisica ha conosciuto il peccato*”. Anche se immediatamente prima, il 15-16 giugno, un sotto-comitato scientifico composto da Oppenheimer, Fermi, Ernest Lawrence e Arthur Compton chiamato a esprimersi sull’uso della bomba si era pronunciato in maniera pilatesca: premettendo di “non avere nessuna particolare competenza nella soluzione di problemi politici, sociali e militari, che sorgono con la scoperta dell’energia atomica” (come se la decisione di spingere il progetto e di aderirvi non fosse stata una decisione politica, sociale e militare assunta proprio in base ad una particolare competenza scientifica), pur riconoscendo l’obbligo di “salvare vite americane”, concludevano: “non vediamo nessuna alternativa accettabile all’impiego militare diretto”. Gli scrupoli morali degli scienziati, in genere, cadono davanti all’auto-ammirazione per propri risultati, che devono essere comunque “progresso”! Fermi ad esempio non ha mai manifestato in vita sua scrupoli morali.

A me appare francamente singolare che lo spettro di una guerra nucleare si sia ripresentato nella pubblica opinione (solo) in occasione della guerra in Ucraina. Personalmente sono abbastanza convinto che Putin *non* userà armi nucleari tattiche<sup>3</sup>. Ovviamente non ho prove certe, e l’evoluzione del conflitto è imprevedibile, soprattutto se USA-NATO continueranno ad alimentarlo “per procura”, ovvero sfruttando gli ucraini come carne da cannone. Ma il mio ragionamento è supportato da almeno un paio di motivi che mi sembrano ragionevoli se non convincenti: il primo è che se Putin ricorresse al nucleare si attirerebbe la condanna ferma e compatta di tutta la comunità internazionale, aggravando il proprio isolamento (non può certo pensare di vincere una guerra contro USA e NATO); e il secondo è che in particolare perderebbe l’appoggio della Cina che, pur vacillante, è quasi il solo che veramente gli rimane.

poema si narra l’incontro di Arjuna, valoroso condottiero e prototipo dell’eroe, con Krishna, un’incarnazione del Divino in forma umana). Oppenheimer studiò il sanscrito. Sembra evidente che il termine *Trinity* richiama qualcosa di sopranna-

turale. Dal sito del *Los Alamos National Laboratory*, <https://discover.lanl.gov/news/0714-oppenheimer-literature/>

3. Va detto che il termine “tattiche” non esiste nelle classificazioni ufficiali, vari stati nu-



Ma voglio dire con fermezza che questo ragionamento che condanna un’eventuale decisione di Putin è parziale, deve doverosamente essere completato da un seguito: se Putin ricorresse al nucleare commetterebbe senza dubbio un crimine terribile e un delitto contro l’umanità... ma gli USA-NATO minacciando una reazione adeguata non hanno escluso dalle possibilità una ritorsione a sua volta nucleare, la quale davvero scatenerrebbe la guerra nucleare! Del resto, fra le misure preventive di USA e NATO vi è l’anticipazione alla fine del 2022 della sostituzione delle testate B61 schierate in Europa con le potenziatae B61-12 che era prevista per il 2023: non è questa, anch’essa, più che un avvertimento una minaccia tutt’altro che velata verso la Russia? Non va dimenticato che non solo l’uso ma anche la minaccia è considerata una violazione del diritto internazionale, come venne stabilito nella *advisory opinion* della Corte Internazionale di Giustizia del 1996, e nel 2022 formalizzato dall’entrata in vigore del Trattato di Proibizione (TPNW).

In ogni caso, questa minaccia di Putin sarebbe fermata da un cessate il fuoco e l’avvio di negoziati, anche se non sembrano imminenti. Assai

cleari non fanno distinzione: al più si dovrebbe usare il termine “non strategiche” o “sub-strategiche”. D’altra parte mi sembra opportuno commentare che, con i limiti di potenza (50 chilotoni) e di gittata, le bombe trasportate e sganciate su

Hiroshima (15 kt) e Nagasaki (20 kt) sarebbero da definire tattiche i B-29 partirono dalla base USA nell’isola di Tinian, Marianne, che dista circa 2.400 km dal Giappone: più o meno la distanza fra Ghedi o Aviano e la Russia per le B61-12)

più difficile invece fermare minacce nucleari che gravano sull'umanità, e si aggravano, da molti anni, ma sembrano allarmare molto meno l'opinione pubblica. Ecco un sintetico elenco, soprattutto degli eventi più recenti.

- Gli allarmi annuali sempre più gravi del *Doomsday Clock*: dal 2020 le lancette sono state avvicinate ad appena 100 secondi dalla mezzanotte e nel gennaio 2023 sono state ulteriormente avvicinate a 90 secondi<sup>4</sup>. È un fatto che il rischio di una guerra nucleare è il più alto in tutta la storia dell'era nucleare, dal 1945. Non sembra che in generale la pubblica opinione se ne sia adeguatamente allarmata.

- Il 27 ottobre 2022 è stata finalmente resa pubblica la *Nuclear Posture Review* di Biden, la quale tradisce tutti gli impegni che egli aveva dichiarato in campagna elettorale: evidentemente le pressioni dell'*establishment* militare hanno avuto il loro effetto. La Postura conferma tutti i programmi nucleari degli Stati Uniti: per dirla con un commento lapidario pubblicato dal *Bulletin* "traccia la rotta per un lungo futuro dell'arsenale nucleare statunitense". Fra l'altro, conferma l'allerta dei missili intercontinentali, lo stato di *Launch on Warning* (lancio su allarme), residuo della Guerra Fredda: permane così il rischio gravissimo di una guerra per errore. Una ricetta per il disastro!

- Tanto più che l'ossessione di evitare l'"errore umano" porta ad affidare il controllo e comando degli armamenti nucleari ad automatismi: in realtà un'ossessione per l'automatizzazione di tutti i sistemi d'arma, dietro la quale ci sono anche i colossali interessi dell'industria militare, ed è questa che in definitiva predispone gli armamenti più sofisticati con i quali i militari programmano le

strategie per le nuove guerre. Ma mentre l'uomo ha la facoltà di riconoscere e rettificare gli errori, un automatismo agisce confrontando la situazione reale con una serie enorme, ma finita, di immagini modello, può essere ingannata o confusa da malfunzionamenti o variazioni dell'ambiente esterno: la macchina agisce in maniera automatica. Come recita appunto un articolo del *Bulletin* del gennaio 2022 "Se l'Intelligenza Artificiale controllasse le armi nucleari potremmo essere tutti morti"<sup>5</sup>.

- Il 29 ottobre 2022 la Polonia si è offerta di ospitare testate nucleari USA. Una disponibilità che, ancor più dopo il missile della contraerea ucraina caduto in Polonia, si inquadra nella scelta che si sta delineando chiaramente di fare della Polonia lo Stato europeo con l'esercito più numeroso e meglio equipaggiato, capace di rispondere a qualsiasi provocazione russa. Varsavia ha aumentato il budget militare da 2,4% al 5% del Pil, bypassando la UE per l'acquisto di armi ricorrendo alla Corea del Sud oltre che agli USA. Così, dopo la guerra in Ucraina, Varsavia supererebbe Berlino come testa di ponte delle forze NATO in Europa.

- Quanto agli USA, un articolo del 27 ottobre 2022 di Thomas Mahnken sull'autorevole *Foreign Affairs*, che riflette opinioni dell'amministrazione, titola "Può l'America vincere una nuova Guerra Mondiale?": Mahnken traccia un programma preciso della prossima III guerra contro Russia e Cina, sul teatro europeo e del Pacifico. Questo si pensa nei circoli militari USA! (Baracca e Cacopardo, <https://www.pressenza.com/it/2022/11/washington-si-prepara-alla-guerra-mondiale-per-configurare-cina-e-russia/>).

- Intanto la spesa militare mondiale da anni sta aumentando alla cifra record di 2,113 miliardi di dollari, una corsa al riarmo generalizzata, una mi-

4. Vedi per il 2023: <https://www.pressenza.com/it/2023/01/lorologiodellapocalisse-spostato-a-90-secondi/>

5. <https://thebulletin.org/2022/02/giving-an-ai-control-of-nuclear-weapons-what-could-possibly-go-wrong/>

naccia sempre più incombente sull'umanità intera. Che vede in testa come sempre gli Stati Uniti con la cifra record di 857,9 miliardi, addirittura aumentata rispetto alla proposta dell'amministrazione: \$ 816,7 mld per il *Department of Defense* (DOD) e \$ 30,3 mld per i programmi di sicurezza del *Department of Energy* (DOE). Per la cronaca l'Italia si situa buona undicesima con 32 miliardi. Le armi sono fatte per usarle in guerre, e la guerra in Ucraina è un'occasione d'oro per sperimentarle (e, svuotando gli arsenali, per rinnovarli). Per dirla in termini crudi ma chiari: siamo seduti su una polveriera.

Come ricorda Noam Chomsky per la minaccia nucleare "Se siamo vivi è per miracolo!". Vi è una sola strada che può garantire realmente la scomparsa dell'incubo nucleare: l'eliminazione definitiva di tutte le armi nucleari. Ma questo obiettivo non sembra davvero nell'agenda delle potenze nucleari, le quali all'opposto sviluppano programmi *triliardari* di modernizzazione di tutti gli armamenti nucleari: sommergibili, vettori, bombardieri, testate.

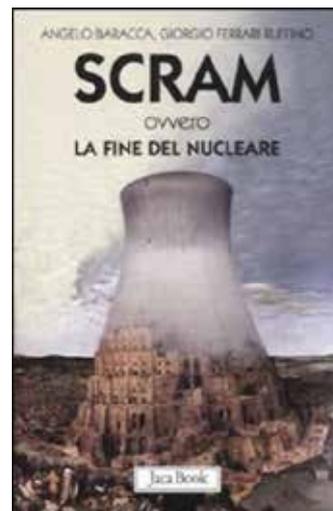
È interessante a questo proposito registrare che la Dichiarazione finale del G20 di Bali del 15-16 novembre usa il termine "L'uso o la minaccia dell'uso delle armi nucleari è *inammissibile*", un termine che suona più categorico di "inaccettabile" che era stato utilizzato finora, e che sembra adeguare il linguaggio a quello proposto dal TPNW: potrebbe essere interpretato come un segnale di apertura, dopo che anche molti stati della NATO stanno mostrando aperture al trattato. Del G20 fanno parte sei delle nove potenze nucleari.

Un articolo del 26 ottobre 2022 del *Bulletin* di Franziska Stärk e Ulrich Kühn, contiene un'affermazione interessante che getta un parallelo con il prossimo tema che affronterò: "le armi nucleari sono per la sicurezza globale ciò che i combustibili fossili sono per un'economia verde: una costosa eredità delle generazioni passate che ostacola gli sforzi per la giustizia e la sostenibilità a lungo termine"<sup>6</sup>. ●

6. <https://thebulletin.org/2022/10/nuclear-injustice-how-russias-invasion-of-ukraine-shows-the-staggering-human-cost-of-deterrence/>

### Angelo Baracca, Giorgio Ferrari Ruffino *Scram ovvero la fine del nucleare*

Jaca Book Milano 2011



Diversamente da quanto si vuol far credere, il nucleare non è una tecnologia avanzata, ma una tecnologia complicata, vecchia, costosa e pericolosa, che in mezzo secolo ha creato - oltre all'incubo tutt'altro che scomparso dell'olocausto nucleare - problemi gravissimi, che peseranno per centinaia o migliaia di anni, senza avere apportato alcun beneficio sostanziale o insostituibile. Questa tesi viene sviluppata nel libro in termini analitici e rigorosi, analizzando in modo sistematico l'intero ciclo nucleare per tutti gli aspetti rilevanti: emissioni di CO<sub>2</sub>, indipendenza dalle fonti fossili, costi disaggregati, emissioni di radioattività nel normale funzionamento, residui radioattivi ingestibili, rischi e portata di possibili incidenti, pericoli di proliferazione militare.

Un capitolo di Ernesto Burgio analizza i danni biologici e sanitari delle radiazioni ionizzanti in base ai risultati più recenti della ricerca biologica, che dimostrano la profonda inadeguatezza dell'approccio e della normativa ufficiali, nonché delle sue conclusioni tranquillizzanti per le piccole dosi di radiazioni. Tanto più utile risulta il confronto con l'"immagine speculare" della Francia, la cui fama di paradiso del nucleare viene smontata e analizzata nelle sue profonde contraddizioni da uno specialista di notorietà internazionale, Mycle Schneider.

L'ultima parte del libro è dedicata a dimostrare l'inconsistenza e la impraticabilità delle soluzioni miracolistiche prospettate dall'industria nucleare.

---

## Fusione (e confusione) nucleare

Angelo Baracca  
Giorgio Ferrari

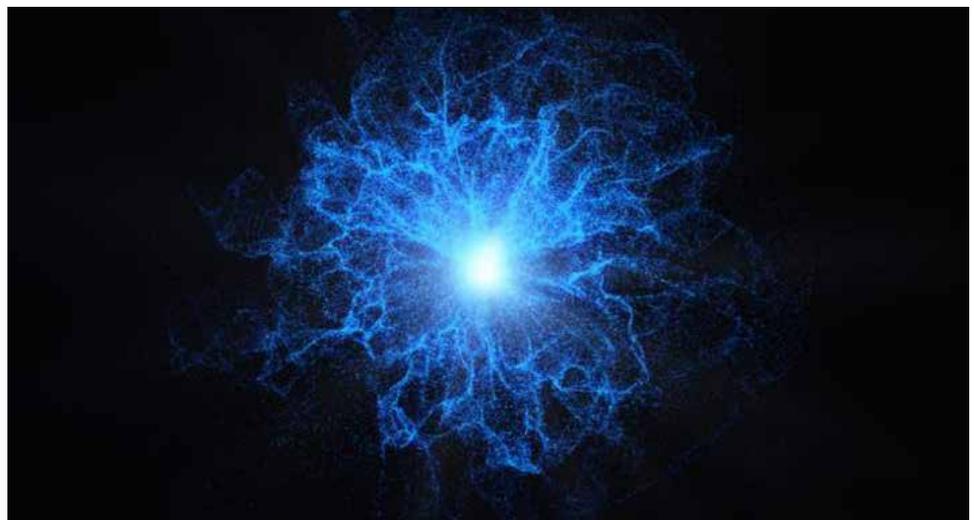
The news of the nuclear fusion experiment, as presented by the main media, has undoubtedly struck the collective imagination. The authors reduce its importance from the point of view of energy gain and underline the eminently military character of this type of research.  
Keywords: *Nuclear fusion, Nuclear energy, Military research*

---

Una campagna di stampa a livello internazionale ha esaltato l'esperimento fatto negli Stati Uniti verso la realizzazione della fusione nucleare controllata, un sogno (una promessa) inseguito fin dai primi passi della tecnologia nucleare negli anni '40-'50 del secolo scorso: periodicamente ogni decina d'anni veniva annunciato che la realizzazione sarebbe stata vicina. Lo stesso comunicato stampa del Dipartimento dell'Energia USA affermava esplicitamente: "Il 5 dicembre, un team della National Ignition Facility (NIF) del Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) ha condotto il primo esperimento di fusione controllata della storia [l'accensione della fusione], nota anche come pareggio energetico scientifico, il che significa che ha prodotto più energia dalla fusione rispetto all'energia laser utilizzata per azionarla. Questo risultato storico, primo nel suo genere, fornirà una capacità senza precedenti per supportare il programma di gestione delle scorte della National Nuclear Security Administration [armamenti della difesa nazionale] e fornirà informazioni preziose sulle prospettive dell'energia da fusione pulita". Ma oggi questo pomposo annuncio richiede molte precisazioni e distinguo, che inevitabilmente sfuggono a chi è a digiuno di queste cose.

### **Fusione a confinamento inerziale, una scelta militare**

Detto in parole semplici la realizzazione della fusione nucleare di nuclei leggeri (in un certo senso l'opposto della fissione di nuclei pesanti) richiede di riscaldare un plasma, tipicamente di deuterio e trizio, a milioni di gradi in modo che le energie cinetiche dei nuclei superino le barriere di repulsione elettrica. La reazione di fusione nucleare è stata realizzata già nel 1949,



ma in modo esplosivo; vale a dire nelle bombe termonucleari nelle quali un dispositivo primario a fissione genera la temperatura necessaria ad innescare un dispositivo secondario a fusione. Da quel tempo è iniziata la ricerca per realizzare la fusione nucleare in modo controllato (non esplosivo) a scopi pacifici, ricerca che oggi si concentra su due metodi molto diversi: il confinamento magnetico di un “plasma” ottenuto dalla fusione di Deuterio e Trizio (DT) (vedi scheda 1) in macchine di grandi dimensioni del tipo Tokamak

### scheda 1: Deuterio e Trizio

Deuterio e Trizio sono isotopi dell'idrogeno e sono entrambi dei gas. Il primo ha massa doppia rispetto all'Idrogeno dato che il suo nucleo è composto da un neutrone e da un protone, mentre il nucleo dell'Idrogeno ha un solo protone. Il trizio ha massa tripla avendo due neutroni ed un protone. Il Deuterio si ottiene per scissione della molecola dell'acqua pesante ( $D_2O$ ), che a sua volta si ottiene per via elettrolitica o per distillazione frazionata dell'acqua ( $H_2O$ ). In natura il Deuterio è presente nella molecola dell'acqua in quantità pari a 156 ppm (parti per milione), mentre il Trizio in quantità infinitesimali dell'ordine di 10-18 ppm. A differenza del Deuterio, il Trizio è radioattivo essendo prodotto da reazioni nucleari con l'acqua pesante (reattori canadesi) oppure bombardando il litio con neutroni di determinata energia. Modeste, ma non trascurabili, quantità di Trizio si producono nei reattori ad acqua in pressione che vengono scaricate nell'ambiente – dopo opportuno trattamento – come acqua triziata, HTO, e in piccole quantità come gas. Poiché il suo comportamento chimico è indistinguibile da quello dell'idrogeno, il trizio è molto mobile nei sistemi acquatici e biochimici, è incorporato dall'acqua triziata nelle molecole biologiche ed entra nelle catene alimentari: di qui la sua pericolosità. Il Trizio è il componente essenziale delle bombe termonucleari e siccome ha un tempo di dimezzamento (cioè il tempo in cui si dimezza l'attività radiologica) di 12 anni, deve essere costantemente rimpiazzato, perciò la sua produzione (pochi Kg/anno) è sotto stretto controllo militare ed è, ovviamente, molto costosa. Nell'ipotesi che la fusione nucleare per usi civili prenda piede, ne servirebbero quantità assai maggiori di quelle oggi destinate agli armamenti: a questo scopo progetti come quello di Iter prevedono che una parte dei neutroni ad alta energia che si liberano nella reazione di fusione tra D e T, colpiscono uno schermo di Litio al fine di generare Trizio.

### scheda 2: Laser

La luce laser è monocromatica (un'unica frequenza) e coerente (tutte le onde sono esattamente in fase): grazie alla sua coerenza la luce laser può rimanere concentrata per distanze molto lunghe, anche migliaia di chilometri nello spazio. La tecnologia dei laser ha registrato spettacolari progressi negli ultimi 30 anni, consentendo di raggiungere enormi potenze con apparati di dimensioni relativamente ridotte e di costo molto basso. I laser sono già utilizzati in diversi tipi di armi (proiettili a guida laser, laser nella difesa antimissile). Un laser emette degli impulsi di luce successivi e per aumentare la potenza emessa si deve ridurre la durata temporale di ogni impulso, in modo che l'energia viene emessa in un tempo minore, ma gli effetti non lineari e l'allargamento del fascio impedivano di aumentare corrispondentemente la potenza per  $cm^2$ . L'impasse venne superato alla fine degli anni '80 con l'introduzione di una nuova tecnica, chiamata chirped pulse amplification (termine difficilmente traducibile in italiano), che consentì un progresso spettacolare, raggiungendo intensità enormi, di  $10^{21}$  W/ $cm^2$ , avvicinandosi al limite teorico di intensità di  $10^{24}$  W/ $cm^2$ . Essi sono chiamati superlaser perché le loro interazioni con la materia sono qualitativamente differenti da quelle dei laser ordinari: essi consentono di generare condizioni fisiche estreme – pressioni e temperature, campi elettrici e magnetici estremamente elevati – che in natura si hanno solo all'interno delle stelle; essi possono generare direttamente reazioni nucleari, scindere nuclei pesanti, generare antimateria, generare fasci di ioni intensi e focalizzati, ecc.. I nuovi principi dei superlaser sono stati integrati nei sistemi esistenti di FCI nei laboratori di Los Alamos e Livermore negli USA, e in Francia, Gran Bretagna e Giappone. Le applicazioni militari dei superlaser sono molte e impressionanti e sono soggette a un'attività molto intensa praticamente in tutti i paesi industrializzati, dove sono stati creati dei centri specializzati. Qui ci riguarda in particolare la “fast ignition” della FCI per raggiungere la fusione nucleare.

(l'perimento più avanzato è l'impianto ITER, in costruzione a Cadarache in Francia) e il confinamento inerziale (FCI), concentrando su un corpo grande quanto un granello di pepe (pellet), composto sempre da D e T, enormi energie, tipicamente generate da superlaser (vedi scheda 2) che comprimano e riscaldino il DT a milioni di gradi innescandone la fusione nucleare. Ora,

in queste ricerche si intrecciano interessi civili e interessi militari: un autorevole articolo di quasi 50 anni fa<sup>1</sup> metteva in chiaro che “la simulazione delle armi può essere l’unica applicazione pratica della fusione laser in questo secolo [previsione completamente azzeccata]... e gli esperti di armamenti si aspettano che la fusione laser diventi uno strumento sperimentale straordinariamente utile per studiare i fondamenti della ‘fisica delle testate’ e, unitamente a codici di simulazione elettronica sempre più raffinati, per sviluppare nuovi progetti di armi... Da parte sua il generale Edward B. Giller, incaricato delle applicazioni e ricerche militari presso l’Atomic Energy Commission, ebbe a dire, durante una conversazione: ‘La gente va dicendo che questo è un programma energetico, ma [...] in realtà questo è ed è sempre stato un programma militare’”.

In effetti le ricerche finalizzate allo sviluppo di armi nucleari basate sulla fusione a confinamento inerziale si sviluppano proprio in quegli anni quando, con la messa in discussione a livello mondiale degli esperimenti atomici, il Dipartimento della difesa USA e il Dipartimento dell’Energia varano un programma per lo sviluppo delle armi nucleari di terza generazione (vedi scheda 3).

Le prime due reazioni presentano il “vantaggio” (tutto militare) di emettere anche neutroni ad alta energia che, nell’ottica della maggiore distruzione possibile e in scenari di guerra circoscritti, possono aumentare la letalità di un’arma basata sulla fusione. Fra questi due tipi, la FCI veniva considerata la più promettente: “Entro il prossimo decennio [l’articolo citato è del 1990], le microesplosioni termonucleari prodotte dalla FCI potrebbero consentire agli scienziati di comprendere meglio la fisica delle testate che coinvolgono la produzione di raggi X, le dinamiche di implosione e le instabilità, ma solo se si riuscirà a realizzare l’ignizione delle pellets. Poiché i laser e i fasci di particelle più potenti attualmente

### scheda 3: Armi nucleari

Le armi nucleari di prima generazione furono del tipo di quelle sganciate su Hiroshima e Nagasaki, nelle prime testate nucleari la fissione dell’uranio o del plutonio era molto parziale perché l’esplosione disassemblava la testata; la seconda generazione consistette nelle testate termonucleari (a fissione-fusione) e incorporò il meccanismo di boosting che ne potenziò l’effetto (aggiunta di un piccolo componente di D e T di pochi millimetri di raggio, il quale non contribuisce sensibilmente alla potenza esplosiva, ma compresso dall’esplosione innesca la fusione D-T generando un flusso di neutroni che aumenta l’efficienza e la rapidità della fissione nucleare); le testate di terza generazione furono essenzialmente di testate speciali, per usi o con effetti specifici – testate a radiazione potenziata, soppressa o indotta, bombe ad impulso magnetico (EMP), bombe ai neutroni, ecc. – le quali non hanno mai trovato un uso militare veramente convincente, e non hanno mai avuto quindi un ruolo preciso negli arsenali nucleari. <https://www.globalsecurity.org/space/systems/xrl.htm>.

disponibili per la ricerca FCI non sono ancora in grado di fornire potenze superiori a 1 megajoule in relazione alla lunghezza dell’impulso richiesta, l’ignizione delle pellets rimane un compito formidabile”<sup>2</sup>.

Il campo di indagine era inizialmente circoscritto allo sviluppo di armi con potenziale compreso tra 300 kg di esplosivo equivalente ed 1 kilotone, quindi armi di dimensioni contenute, facilmente trasportabili o comunque abbinabili ad un vettore di rapido impiego. Da notare che fino alla fine degli anni ’80 i test nucleari sotterranei, data l’alta intensità di radiazioni prodotte, servivano anche a verificare se si riusciva ad ignire (accendere) le pellets di DT impiegate nella fusione inerziale. Solo successivamente, e per i motivi sopra detti riguardanti i test nucleari, le sperimentazioni in laboratorio divennero prioritarie al punto che perfino la National Academy of Sciences ameri-

1. Gillette R, *Laser fusion: an energy option, but weapons simulation is first*, Science, vol. 188:30-34, 1975.

2. Fenstermacher DL, *The Effects of Nuclear Test-ban Regimes on Third-generation-weapon Innovation*, Science & Global Security, 1990, vol.1:187-223, 1990 <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs01fenstermacher.pdf>

cana descriveva i vantaggi potenziali della FCI per la progettazione di armi, in questi termini: “Un laboratorio di esplosivi termonucleari da 1000 MJ (Mega Joule) sarebbe uno strumento straordinario per esplorare la fisica delle armi termonucleari. Alcuni concetti su come utilizzare le armi nucleari come sorgenti di energia diretta, come i laser a raggi X o i fasci di microonde (vedi scheda 4) potrebbero essere testati in un ambiente di laboratorio in modo rapido e interattivo [...] Campagne sperimentali estese [...] che avrebbero un costo proibitivo per i test sotterranei, potrebbero essere effettuate con una struttura FCI”, aggiungendo: “L’implicazione è che una volta che un impianto FCI sarà in funzione, potrebbe fornire uno strumento cruciale per la ricerca e lo sviluppo di armi come gli XRL con esplosivo nucleare e le armi a fascio di microonde, perché potrebbe essere l’unica fonte di test accessibile per il numero di test richiesti”. Un articolo del 1998 affermava che “se venissero sviluppati esplosivi compatti a fusione pura, le salvaguardie dell’AIEA sull’uso di materiali fissili – il metodo con

cui viene verificata la non proliferazione delle armi nucleari – verrebbero aggirate”<sup>7</sup>.

Dunque, diversamente da quanto si legge sugli organi di informazione, lo scopo prioritario dell’intero progetto NIF (National Ignition Facility) di cui è parte integrante l’esperimento del 5 dicembre scorso presso il LLNL, è di tipo militare; prova ne sia che esso è stato formalizzato all’indomani della messa al bando dei test nucleari sotterranei – votata dall’Assemblea generale dell’ONU nel 1996, ma mai ratificata dagli USA – proprio per ottenere in modo non distruttivo le informazioni risultanti da quei test.

D’altronde, nella conferenza stampa seguita all’esperimento del 5 dicembre scorso, Mark Herrmann, direttore del programma di fisica e progettazione delle armi nucleari al Livermore, ha fatto la seguente dichiarazione, ripresa anche dal New York Times: “Questo esperimento ci aiuterà a capire meglio gli effetti delle bombe nucleari perché la grande generazione di potenza ottenuta crea di per sé ambienti molto estremi che assomigliano da vicino a quelli provocati da un’arma nucleare”. Finalità che Gillette aveva esplicitamente previsto già nel 1975: “la fusione laser può diventare uno strumento sperimentale straordinariamente utile per studiare la ‘fisica fondamentale delle testate’ [che presenta ancora molti aspetti oscuri] e... per sviluppare nuovi progetti di armi”.

Alla base di tutta questa vicenda c’era, indubbiamente, la competizione in campo nucleare tra e URSS la cui massima intensità si raggiunse durante la cosiddetta guerra fredda. Tuttavia, se fino agli anni ‘80 la preoccupazione degli Stati Uniti di essere superati dall’Unione Sovietica aveva qualche fondamento (i sovietici erano molto avanti nello sviluppo della tecnologia MTF), l’idea di armi di terza generazione da impiegare in determinati teatri di guerra (come ad esempio quelli occorsi in Iraq e Afghanistan) è

#### **scheda 4: Armi a energia diretta**

Le armi a energia diretta includono laser ad alta energia, dispositivi a radiofrequenza o a microonde ad alta potenza e armi a fascio di particelle cariche o neutre. Un rapporto del 2020 (Henry “Trey” Obering, “Directed Energy Weapons Are Real ... And Disruptive”, [https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/prism/prism\\_8-3/prism\\_8-3\\_Obering\\_36-46.pdf](https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/prism/prism_8-3/prism_8-3_Obering_36-46.pdf)) afferma: “Le armi a energia diretta non sono più solo fantascienza. Esse sono reali e stanno maturando rapidamente. Nei prossimi anni, l’Esercito, la Marina e l’Aeronautica degli Stati Uniti hanno in programma di sviluppare e mettere in campo queste armi a un ritmo crescente. Saranno impiegate su veicoli terrestri, aerei, elicotteri e navi”. ... “Gli Stati Uniti hanno fatto molta strada nello sviluppo delle capacità delle armi a energia diretta e ora si trovano in una fase critica. La tecnologia sta maturando rapidamente, stanno emergendo minacce che l’energia diretta può affrontare in modo quasi unico e i combattenti stanno segnalando il loro sostegno. Tuttavia, come per lo sviluppo di qualsiasi capacità militare senza precedenti, ci sono rischi, sfide e imitazioni che riguardano i costi, i tempi e le prestazioni”.

3. Suzanne L. Jones and Frank N. von Hippel, *The Question of Pure Fusion Explosions Under the CBT*, Science & Global Security. 1998, vol. 7:129-150, 1998 <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs07jones.pdf>

frutto dell'ossessione statunitense di mantenere il dominio esclusivo della deterrenza nucleare, atteggiamento riscontrabile già sotto l'amministrazione Reagan quando, nel 1987, rispondendo ad una interrogazione parlamentare relativa a questo tipo di armi, l'allora segretario all'Energia, John S. Herrington, rispose: "La ragione principale per cui stiamo perseguendo armi a energia nucleare diretta è sapere a che punto sono le conoscenze dei sovietici nel progettare e schierare armi simili, che metterebbero a rischio la forza deterrente strategica degli Stati Uniti o un futuro sistema difensivo".

### Il guadagno di energia

L'aspetto più appariscente dell'esperimento condotto negli USA riguarda il cosiddetto *energy gain* (in questo caso l'*energy gain* "netto" è la differenza tra l'energia utilizzabile e quella spesa nella reazione di fusione) che è stato presentato come una svolta storica nel cammino verso la fusione nucleare, perché per la prima volta è stata generata una quantità di energia superiore a quella emessa dagli impulsi laser per ottenere la reazione di fusione, cosa che, se non spiegata, potrebbe far intendere all'opinione pubblica che il sogno di quei personaggi (tra cui lo stesso Leonardo da Vinci) che tra il '500 e il '700 si ingegnarono di realizzare il moto perpetuo, si sia avverato.

Ciò che si è ottenuto al Livermore, in realtà, consiste esclusivamente in un guadagno di energia tra quella fornita dall'impulso laser per fondere gli atomi di DT e quella ottenuta da questa fusione che è stata, rispettivamente, di 2,05 MJ (Mega Joule) e 3,15 MJ, con un incremento del 150% (il cosiddetto "breakthrough" cioè più del 100%) per un tempo infinitesimo, dell'ordine del trilionesimo di secondo, ma per generare quell'impulso, i 192 laser impiegati hanno consumato una energia pari a 300 MJ, cioè 150 volte superiore a quella fornita dall'impulso e 100 volte superiore a quella ottenuta dalla fusione.

Ora non c'è dubbio che dal punto di vista della sperimentazione di laboratorio, questa prova rappresenti un successo, dato che finora l'energia ottenuta in questi test non aveva mai raggiunto la soglia del "break-even" (pareggio), cioè ottenere

dalla reazione di fusione una energia almeno pari a quella immessa attraverso l'impulso laser, ma ciò non ha nulla a che vedere con il bilancio energetico dell'intero processo che rimane enormemente deficitario e dell'ordine di 100 a 1 (300 MJ contro 3,15 MJ) che in buona sostanza dipende dal rendimento (estremamente basso) del tipo di laser impiegati.

Quello che è certo è che il bilancio energetico non ha nessuna rilevanza dal punto di vista militare, dove importa solo ottenere la fusione di una minuscola pellet perché nelle ricerche sulle armi nucleari sono state spese quantità di energia colossali, enormemente superiori alle potenze di tutte le testate realizzate, ma dal punto di vista industriale ciò significa che l'applicazione di questa tecnologia è ben lungi dal potersi, non si dica realizzare, ma almeno progettare, anche perché la tecnologia NIF – a differenza di quella ITER basata su di una reazione che, in via di principio, dovrebbe autosostenersi (plasma) – si fonda sulla possibilità di provocare la fusione "sparando" su una pellet singoli impulsi di energia laser (vedi scheda 5) che non possono autosostenersi

### scheda 5: implosione dei pellet

Forniamo qualche altro dettaglio sul meccanismo fisico dell'implosione del pellet., che ha costituito uno dei problemi principali che la NIF doveva risolvere. La piccola quantità di DT è racchiusa in un involucro: la radiazione, incidendo sulla sua superficie, la surriscalda; essa espelle così materia, che per reazione provoca l'implosione verso l'interno. Inoltre, risulta pratico non inviare direttamente sul pellet i fasci laser o i raggi di particelle: il pellet può essere posto all'interno di una cavità (*hohlraum*, dal termine tedesco), nella quale i fasci incidenti generano un intensissimo flusso di raggi X che lo colpiscono uniformemente provocandone l'implosione (*indirect drive*). È importante osservare che questo meccanismo è analogo, dal punto di vista fisico, alla fusione del secondario di una bomba termonucleare a due stadi (meccanismo di Teller-Ulam), che sfrutta appunto i raggi X generati nello *hohlraum* dall'esplosione del primo stadio a fissione per la compressione del secondario (ed è stato declassificato per la FCI quasi contemporaneamente e con parole quasi identiche al meccanismo di Teller-Ulam): in questo caso, naturalmente, non si utilizza la bomba a fissione come innesco.

e quindi per dare vita ad un processo continuo di generazione di energia bisognerebbe realizzare una macchina in grado di “sparare” impulsi di energia su una successione di pellets con una frequenza di varie volte al secondo, cosa che al momento risulta tecnologicamente ancora più difficile di quanto si presenti il confinamento magnetico del plasma. Se infatti gli aspetti critici del confinamento magnetico risiedono nelle alte temperature che si devono raggiungere (che sono perfino superiori a quelle del sole, dato che non è possibile riprodurre la stessa densità della massa solare) e nel mantenere il plasma stabile e isolato dalle infrastrutture, quelli del confinamento inerziale riguardano la sua discontinuità (one shot) che implica, sia una frequenza elevata di impulsi laser (quindi la possibilità che questi si ricarichino rapidamente, cosa per nulla scontata), sia una disponibilità illimitata di bersagli da colpire (pellets) di ridotte dimensioni, altrimenti l'energia rilasciata dalla reazione di fusione assumerebbe caratteristiche distruttive.

Insomma, il risultato trionfalistico ottenuto al Livermore non è, almeno per ora e nelle intenzioni, un passo avanti nella direzione di produrre energia illimitata (che poi non è così), ma per poter progettare armi del tutto nuove, forse micro-bombe a pura fusione (nuove testate di IV generazione): se poi potrà servire anche alla produzione pacifica di energia è comunque tutto da vedere. Ma se non si comprendono questi aspetti non si fornisce veramente l'informazione utile e trasparente per l'opinione pubblica, e si rischia di mistificare la ricerche militari, aspetto che non sfuggì al vecchio Hans Bethe<sup>4</sup> quando, nel 1997, mentre si stava per decidere il varo del NIF e la costruzione dei grandi laboratori a Livermore, scrisse una lettera al presidente Clinton in cui diceva: “È giunto il momento per la nostra Nazione di dichiarare che non sta lavorando, in

4. Fisico tedesco, emigrato negli USA dove prese parte al progetto Manhattan e durante la seconda guerra mondiale, fu a capo della Divisione Teorica

presso il laboratorio segreto di Los Alamos. Successivamente si schierò contro gli esperimenti atomici e il riarmo nucleare.

alcun modo, allo sviluppo di ulteriori armi di distruzione di massa di alcun tipo. In particolare, ciò significa non finanziare lavori che guardino alla possibilità di nuovi progetti di armi nucleari come le armi a fusione pura”.

### “Minchiate” sulla fusione nucleare

Consigliamo ai nostri lettori di visitare il blog di Paolo Attivissimo, “giornalista informatico e cacciatore di bufale”, dove all'indirizzo [attivissimo.bolgsport.com/2022/12/fusione-nucleare-le-minchiate.html](http://attivissimo.bolgsport.com/2022/12/fusione-nucleare-le-minchiate.html)

troveranno l'articolo intitolato *Fusione nucleare, le minchiate incredibili scritte da Repubblica, Corriere, ANSA e La Stampa* che, a detta dell'autore, “hanno pensato bene di informare i loro lettori deliziandoli con quella che posso solo definire una compilation di minchiate. Non è una volgarità: è una descrizione meramente tecnica dei fatti”.

L'articolo è molto documentato e dettagliato. Ci limitiamo qui a riassumere le “minchiate incredibili” che – in effetti – sarebbero potute essere colte anche da un lettore con una conoscenza della fisica solo scolastica e un minimo di spirito critico.

Si parte dai “192 laser [che] hanno riscaldato a oltre cento milioni di gradi un nucleo [...] ad una velocità superiore a quella della luce (Jaime D'Alessandro su *Repubblica*); per passare all'“acqua pesante, cioè non distillata” (Federico Rampini sul *Corriere*), notizia per cui “interi generazioni di studenti di fisica vengono travolte dal gastrospasmo”; e ad alcune affermazioni sulle dimensioni del *pellet* palesemente infondate (ANSA).

L'amara conclusione è che “questi sono i giornalisti, che hanno la pretesa che noi li paghiamo affinché ci informino su cosa succede nel mondo [...]. L'idea di far scrivere gli articoli a qualcuno che sappia cosa sta dicendo, a quanto pare, è troppo rivoluzionaria”.

Maria Turchetto

# ritratto di famiglia

## Tytonidae

Marco Mastrorilli



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 Tytonidae, una famiglia di Strigiformi (rapaci notturni) che contiene i due generi *Tyto* e *Phodilus*, con numerose specie distribuite in tutti i continenti; in particolare, focalizza prevalentemente sulla specie *Tyto alba*, il Barbagianni comune.

In Europa vive un rapace, che si distingue per eleganza e capacità predatorie, che con l'arrivo dell'oscurità si trasforma in un vero dominatore della notte: il barbagianni. Questo strigiforme in alcune regioni italiane è sovente soprannominato dama bianca proprio per il candido colore del petto e del sottoala, e si distingue da altre specie di Strigiformi europei che hanno piumaggi più mimetici.

Il barbagianni è l'unica specie tra gli Strigiformi europei appartenente alla famiglia dei Titonidi. È un predatore specializzato, abituato a catturare le sue prede con attacchi sferrati da un posatoio, grazie al suo volo particolarmente silente. In natura è il rapace notturno più facile da identificare poiché presenta una livrea e caratteri distintivi peculiari. Il disco facciale, ad esempio, fondamentale nella ricezione dei suoni e dei rumori naturali prodotti dalle prede, è molto definito e si distingue per la particolare forma a cuore e presenta una bordatura, quasi a costituire una maschera nera attorno agli occhi. Il becco denota un colore avorio mentre gli occhi sono neri.

Gli Strigiformi, che sono l'ordine tassonomico di appartenenza di gufi, civette, allocchi e barbagianni, grazie al loro adattamento notturno, hanno evoluto incredibili stratagemmi per rendere silenziosa e performante la loro attività nell'oscurità.

La vista e l'udito sono unici nel mondo animale, adattati e funzionali, ma la vera meraviglia della natura è insita nel piumaggio con penne e piume davvero morbide.

Il barbagianni possiede un piumaggio molto chiaro e, sulle penne remiganti (ala), si distingue una sfrangiatura o pettine peculiare di molti rapaci notturni. Questa sfrangiatura è il risultato di una straordinaria evoluzione morfologica, capace di ridurre l'attrito in volo, rendendo questo ultimo silente.

Un recente studio di ricercatori cinesi ha scoperto che anche la parte interna delle penne dei rapaci notturni ha una sfrangiatura con forte potere fonoassorbente che accresce la silenziosità del volo dei rapaci notturni.

Il barbagianni ha una distribuzione cosmopolita che lo porta ad essere presente in tutti i continenti, eccezion fatta per l'Antartide ovviamente.

In Italia la sua popolazione mostra una forte contrazione demografica, che diventa preoccupante in molte zone del Nord dove è vicino ad estinzioni locali.

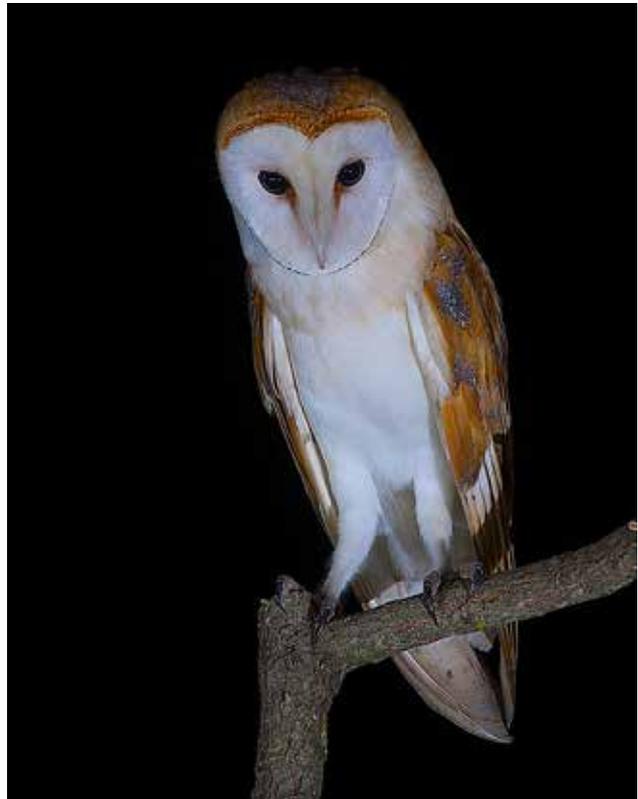
In Italia vivono 3 diverse sottospecie: il Barbagianni più comune è quello della sottospecie nominale *Tyto alba alba* con il piumaggio del petto bianco e del dorso color granata/dorato.

La sottospecie *Tyto alba guttata* (Barbagianni settentrionale), che vive in Europa centrale: più scura e molto punteggiata sul petto. In inverno alcuni barbagianni settentrionali svernano nella regione delle lagune venete, in alcune aree umide padane o sulle coste tirreniche.

La terza sottospecie è il Barbagianni sardo *Tyto alba ernesti* che vive in Sardegna e Corsica ed è più piccolo e più pallido degli altri.

Le popolazioni sono più stabili nelle regioni meridionali e insulari, in virtù di tradizioni agricole ancora solide, mentre nel centro e nell'Italia settentrionale il barbagianni è divenuto molto raro.

Questo rapace notturno preferisce vivere e nidificare in spazi molto aperti, prediligendo le zone di campagna, mentre diserta i boschi ove subisce la competizione dell'alocco che è più massiccio ed aggressivo.



**Barbagianni appollaiato (foto di Carmelo Milluzzo)**

Il suo areale comprende le aree pianiziali, coltivate a cereali e le aree lagunari. In origine si riproduceva in cavità naturali (alberi e grotte), ma ormai da secoli si è adattato alla vicinanza all'uomo e quindi nidifica in fienili, solai, campanili, silos o anfratti idonei ad accogliere una covata piuttosto numerosa. Ultimamente, si adatta anche ad edifici industriali abbandonati e stazioni dismesse. In Italia le nidificazioni su falesie sono oramai molto rare, mentre colonizza con una certa facilità cassette nido.

Il barbagianni non costruisce il nido, ma le uova sono deposte in un luogo asciutto e contornato spesso da diversi materiali come frammenti vegetali, fibre tessili, calcinacci e penne. Se un sito è frequentato per più anni si possono rinvenire molte borre accumulate nel corso degli anni.

La deposizione ha luogo tra marzo e giugno, con un picco registrato ad aprile-maggio. La femmina depone mediamente tra le 4 e le 7 uova di colore bianco e opaco, con un record storico di 18 uova.

La media registrata in Francia su un campione di 325 nidi è stata di 5,7 uova per covata, mentre in Svezia la media registrata scende a 2,2 uova per nido.

L'incubazione, portata avanti dalla sola femmina con una deposizione asincrona, ha inizio dal primo uovo e dura circa 30-31 giorni.

È una specie prolificata e, in condizioni ottimali di clima e disponibilità trofica, può fare anche due o tre covate all'anno, una delle quali durante l'inverno, come rilevato in Sardegna. Del resto, il cambio del clima favorisce anche questo.

Gli inglesi, in virtù della sua preferenza per campagne, lo chiamano *Barn Owl* ovvero "Gufo dei granai" e, insieme alla Civetta, può essere considerata la specie più adattabile alla coesistenza con l'uomo, per questo sovente nidifica in case abbandonate, silos, fienili, campanili, castelli.

Nell'Europa centrale caccia micromammiferi, dai topi ai ratti sino alle arvicole e ai toporagni, comportandosi da predatore stenofago (specia-

lizzato su poche tipologie di prede). Nelle regioni del bacino del Mediterraneo, i barbagianni hanno una dieta più ampia e talvolta cacciano anche insetti, rettili e uccelli.

In uno studio condotto in Italia sulle predazioni insolite di questo titonide, sono stati rinvenuti la Donnola (*Mustela nivalis*), il Riccio (*Erinaceus europaeus*), l'Averla piccola (*Lanius collurio*), la Lepre (*Lepus europaeus*), la Civetta (*Athene noctua*), pipistrelli di diverse specie e persino alcuni esemplari di Gatto domestico (*Felis catus*).

Il sistema digestivo è davvero particolare: ingerita la preda, i barbagianni dispongono di succhi gastrici che riescono a sciogliere parzialmente la preda e con i resti non digeriti come pelo, penne e ossa producono le borre. Le borre dei barbagianni sono pallottole ovoidali, facilmente riconoscibili perché molto compatte e di un colore nero intenso. Purtroppo il barbagianni è il rapace notturno più minacciato su scala europea, ma anche quello più studiato e questo potrebbe favorire progetti di conservazione.

Le cause che generano questo triste calo demografico sono molteplici: gli impatti con veicoli stradali e i veleni destinati ai roditori che finiscono nella catena alimentare e che conducono a vere stragi.

In questi ultimi anni anche i cambiamenti climatici stanno causando problemi a questo rapace. Le crescenti emissioni di gas serra nell'atmosfera producono l'innalzamento delle temperature e il barbagianni dimostra quali effetti negativi ciò possa produrre.

Il barbagianni accumula poche riserve di grasso per superare l'inverno e soffre il gelo e le nevicate, cosicché in questo scenario si potrebbe pensare che il riscaldamento globale possa agevolarlo. In realtà il *global warming* pone



Barbagianni in volo (foto di Carmelo Milluzzo)

in declino le popolazioni di alcuni micromammiferi, come è emerso in un recente monitoraggio condotto nel Regno Unito dal *Barn Owl Trust*, che ha mostrato come lo sconvolgimento del clima influisca negativamente sulle prede preferite del barbagianni, come il Toporagno comune (*Sorex araneus*) e l'Arvicola agreste (*Microtus agrestis*), e di conseguenza sul rapace loro predatore.

Nel 2013, un anno particolarmente negativo per questi micromammiferi, è stato rilevato un calo record delle nidificazioni di barbagianni dai contorni drammatici con riduzioni fino al 90%. Di fronte ad un calo demografico così forte, il miglior sistema per contrastarlo è studiare a fondo il rapace e il suo comportamento.

Alexandre Roulin è un ricercatore svizzero che ha dedicato la sua vita ai barbagianni ed ha studiato il cambiamento della dieta di questi rapaci in Europa scoprendo qualcosa di inatteso. La preferenza del barbagianni nel catturare roditori è nota da sempre, ma Roulin ha svelato che questi rapaci non cacciano più come prima. Gli uccelli e i pipistrelli predati sono sempre meno e si registra una forte regressione nella selezione degli invertebrati. Pensate che, su oltre 3 milioni di prede monitorate, gli insetti rilevati sono stati meno di 10 mila e la sorpresa è stata che non vi erano ci-

cale, dimostrando che il canto notturno di questi insetti non è un attrattivo per i barbagianni, come invece accade per assioli e civette.

I ricercatori svizzeri hanno ipotizzato che i cambiamenti dell'ambiente, l'uso degli insetticidi e il riscaldamento del globo siano i responsabili di questo mutamento della dieta del barbagianni.

Un altro problema è legato al valore nutritivo degli insetti ricchi di proteine, di grassi insaturi e carotenoidi. Poiché gli insetti non rientrano nella dieta dei barbagianni, la loro carenza può influenzare la salute del barbagianni, depauperandone le difese immunitarie.

Il destino del barbagianni è certamente connesso alla trasformazione ambientale causata dall'uomo, alla perdita di potenziali spazi per nidificare e all'elevata mortalità dovuta alla convivenza con l'uomo che ha portato ad un marcato declino del rapace. Solo la ricerca e l'installazione di nidi artificiali potrebbero invertire questo drammatico trend di declino europeo.

Il miglior sistema in assoluto per invertire questa tendenza e ridurre il potenziale declino della specie su scala europea è affidato all'installazione di nidi artificiali che possono costituire il miglior sistema per reintegrare le popolazioni. Ma questi devono essere disposti in modo oculato, a distanze ragionevoli da arterie stradali importanti.

È auspicabile che in futuro, nel nostro e in altri Paesi, si possa prendere esempio da Israele e da alcune nazioni (Germania, Ungheria, Spagna e Gran Bretagna con il grande impegno del *Barn Owl Trust*) per far crescere la popolazione europea con programmi di installazione di nidi appositamente dedicati. ●



Barbagianni in volo (foto di Carmelo Milluzzo)

# focus: i travagli di un'Area Marina



Il Conero visto da NE, con lo scoglio del Trave ai piedi della falesia, foto Enzo Torelli.

Un'Area Marina Protetta (AMP), come ricorda appropriatamente il sito del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), è costituita da ambienti marini e dai tratti di costa prospicienti dotati di rilevante interesse per le caratteristiche naturali, con particolare riguardo alla flora e alla fauna marine e costiere, e per l'importanza scientifica, ecologica, culturale, educativa ed economica che rivestono. In questi tratti di mare le attività umane sono parzialmente o totalmente limitate, secondo il grado di tutela.

In Italia sono già istituite 29 AMP, la cui distribuzione non è però omogenea lungo lo sviluppo costiero. In particolare, balza all'occhio, nella cartina alla pagina seguente, nella quale le AMP sono indicate con puntini rossi, il lungo tratto di costa adriatica, esteso all'incirca dalle Marche al Veneto, privo di AMP. Questa assenza non è dovuta a mancanza dei requisiti di interesse naturalistico ricordati nella definizione. Casi come quelli del promontorio del Monte Conero (indicato nella cartina con una piccola ellisse verde) darebbero adito a ben pochi dubbi dal punto di vista tecnico e scientifico. La mancata istituzione di un'AMP in questo sito, caldeggiata peraltro dallo stesso MASE, è piuttosto il frutto di un intreccio di contrastanti interessi locali che i decisori politici non riescono a sciogliere.

In particolari contesti, è entrato nel linguaggio l'uso del termine inglese *stakeholder* per indicare chi nutre interesse per una iniziativa, economica o sociale e intende fare valere questo interesse. Se, come spesso accade, si confrontano interessi contrastanti, è compito della politica tentare di comporli e, infine, se la composizione non fosse possibile, prendere una decisione. Se la decisione risultasse difficile, esiste lo strumento opportuno per garantire una scelta democratica: il referendum, nel nostro caso comunale.

Detto così sembra molto facile, ma bisogna fare i conti con le caratteristiche sociali dei differenti *stakeholder*. I portatori di interessi favorevoli all'istituzione dell'AMP del Conero

sono sparsi nel tessuto sociale, anche se la loro concentrazione è maggiore in ambienti sensibili alle problematiche ambientali, e possono fare sentire la propria voce solo nel corso di specifici eventi e, sperabilmente, con il ricorso a un istituto giuridico come la consultazione referendaria. I portatori di interessi contrari all'istituzione dell'AMP del Conero fanno principalmente parte di categorie coese (vicine a quelle che, una volta, si sarebbero dette "corporazioni"), per esempio diportisti motonauti, pescatori subacquei, vongolari. Grazie alla coesione, queste categorie sono capaci non solo di esercitare pressioni lobbistiche, ma anche di influenzare le scelte politiche di un'amministrazione, in particolare all'approssimarsi delle scadenze elettorali, quando nessun politico intende inimicarsi *stakeholder* che controllano pacchetti di voti non necessariamente molto consistenti ma certamente compatti. Non c'è da meravigliarsi, pertanto, della periodica evoluzione dell'atteggiamento dell'Amministrazione Comunale anconetana, che passa da entusiastico appoggio all'istituzione dell'AMP del Conero subito dopo le elezioni per trasformarsi in pilatesca smemoratezza e infine in avversione totale alla convocazione di un referendum comunale sull'istituzione dell'AMP allorché la data delle elezioni comunali si avvicina.

Questa è la sconcertante storia dell'AMP del Conero. Finora. Ci si augura che argomenti come quelli presentati negli articoli che seguono contribuiscano a rendere più evidente a chiunque l'opportunità dell'istituzione dell'AMP del Conero. Se la miopia dei politici locali persistesse, solo la trasformazione del Parco Regionale del Conero in Parco Nazionale, come auspicato da più parti, potrà portare entro il 2030 all'istituzione di fatto di un'Area Marina Protetta prospiciente il parco terrestre.



## L'AMP che non c'è

Andrea Fantini,  
Gilberto Stacchiotti

In the center of the Marche, the precious stretch of high coast of Mount Conero interrupts the flat monotony of the sandy shores of the Adriatic. Since 1991 that of the Conero has been identified as a recovery area within the national framework law on protected natural areas (law 394/91) due to the importance and uniqueness of its marine biodiversity. Local institutions, which over the past thirty years have taken positions that are in contrast not only with the public interest but, at times, with their own electoral programmes, have so far been unable to follow up on the Ministry's proposals. The Marche continue to figure among the very few regions without marine protected areas. The goal of safeguarding 30% of the land and sea by 2030, requested by Europe, risks becoming another clamorous failure in territorial governance and in the protection of biodiversity.

Keywords: *Conero area, Marine protected areas, Biodiversity*

### La costa del Conero, scrigno di bellezza e biodiversità

Al centro delle Marche c'è un prezioso tratto di costa alta che interrompe la piatta monotonia delle rive sabbiose estendendosi per oltre 25 km dal colle Guasco a nord, su cui sorge il duomo di Ancona, alle falesie degradanti verso la pianura del Musone a sud, con al centro il rilievo principale del Conero, che raggiunge la quota di 572 m (fig. 1).

È un territorio ricco di storia che gli antichi Greci 24 secoli fa, in navigazione lungo queste coste, chiamarono Conero per l'abbondanza di corbezzolo (*kòmaros* in greco) fondando poi Ancona (da *Ankón*, gomito in greco, così denominata per la caratteristica forma geografica) all'interno del golfo che si apre ai piedi del colle Guasco. I Piceni per secoli si insediarono nell'area del Conero, prima di essere sconfitti dai Romani, e lasciarono centinaia di tombe con i loro ricchi corredi di cui probabilmente uno dei più interessanti



Figura 1. Il promontorio del Conero fra Sirola e Ancona come appare nella rappresentazione di Google Earth in una vista da ESE da 3 000 m di quota.

è quello della “regina” conservato presso l'Antiquarium di Numana. Nel Medioevo il Conero fu soprattutto luogo di preghiera prediletto da eremiti e monaci, Benedettini e Camaldolesi, che grazie a donazioni fondarono monasteri importanti ed eressero meraviglie come la chiesetta di S. Maria di Portonovo, capolavoro romanico-lombardo. Questi luoghi vissero le scorrerie dei pirati, alla ricerca di bottini anche umani, come sembra attestare il nome di Grotta degli Schiavi che indicava un'ampia grotta naturale, ormai scomparsa a causa di una frana. Oltre alle grotte scavate dall'azione del mare, ci sono anche le analoghe aperture ricavate dai pescatori ai piedi della falesia cittadina per ricoverare le barche, che creano un paesaggio caratteristico e unico.

L'interesse geologico di quest'area, con le sue manifestazioni geomorfologiche e strutturali, è testimoniato dal GSSP (*Global Stratigraphic Section and Point*) del monte dei Corvi (fig. 2), riconosciuto nel 2003 come limite cronologico Serravalliano-Tortoniano (11,6 milioni di anni fa). Oggi su quella punta che guarda il Trave c'è il *Golden Spike*, il chiodo d'oro, cioè un punto di riferimento globale per riconoscere il limite fisico tra due età geologiche. In Italia sono situati undici GSSP, di cui ben 2 nel Conero: monte dei Corvi e cava di Massignano. Un terzo sito nell'a-

rea del Conero (Rupi della Vedova) è attualmente oggetto di studio per essere inserito nella lista dei circa cento GSSP riconosciuti a livello globale.

Storia, patrimonio geologico ma soprattutto bellezza e biodiversità rendono davvero speciale e unico questo tratto di costa, meritevole dunque di tutela e attenta gestione. Ambienti diversi si susseguono in un mosaico di falesie, platee rocciose, calette ampie o segrete, ripide pareti stratificate che s'immergono in acque d'intensa salsedine; senza dimenticare la baia verde di Portonovo con i suoi laghetti salmastri, uniche perle costiere delle Marche, dove folaghe e gallinelle convivono stabilmente con i gabbiani.

Il versante orientale del monte Conero è la parte più selvaggia di questo contesto paesistico e ambientale con spiagge di ciottoli arrotondati, veri confetti di calcare, raggiungibili solo dal mare come la spiaggia dei Forni o quella dei Gabbiani. La spiaggia delle Due Sorelle resta tuttavia quella più nota, gioiello distintivo del mare di Sirolo e nel contempo veicolo di promozione turistica per l'intera regione Marche.

Nel 2015 proprio sui versanti sovrastanti i mitici faraglioni (le “due sorelle” del toponimo) sono state rinvenute le tracce di un rettile vissuto circa 110 milioni di anni fa, che ha lasciato quelle impronte in acque profonde della Tetide con fondo fangoso quando ancora la maiolica non aveva la sua compattezza: un caso straordinario di rilevanza mondiale visto che di scoperte simili ne sono state riconosciute soltanto altre due nel globo. Il cielo in primavera è assai affollato perché il monte Conero è un prezioso riferimento per il popolo alato in migrazione che sfruttando le correnti ascensionali si lascia planare verso l'opposta sponda dell'Adriatico, nel tratto di mare più breve, riducendo così la fatica. Un paradiso per gli amanti del birdwatching che la LIPU nel 2010 ha riconosciuto tra i dieci siti migliori d'Italia per l'osservazione dell'avifauna. Il monte Conero è un sito d'interesse europeo e per questo protetto da un'ap-



**Figura 2. Panoramica del sito di Monte dei Corvi da <http://sgi.isprambiente.it/gssp/corvi.aspx>**

posita ZPS (Zona di Protezione Speciale) in base alla Direttiva Uccelli. Nella Rete Natura 2000 sono compresi anche tre SIC (Siti d'Interesse Comunitari) per proteggere habitat che parlano di bellezza e natura anche in mare. La tutela si ferma all'isobata di 6 metri ma la biodiversità è molto più diffusa, come certificato da specifici studi condotti dall'Università Politecnica delle Marche. Una ricca documentazione certifica la presenza di una straordinaria biodiversità, ricca di numerose specie di pesci, molluschi, crostacei ed alghe grazie all'abbondanza di nutrienti e all'estrema varietà di contesti ambientali con fondali di roccia e sabbia. Un'apprezzata attrattiva per biologi e subacquei è rappresentata dai nudibranchi (vedi pagina 31), molluschi gasteropodi chiamati anche "farfalle di mare" per la bellezza dei colori accesi e contrastanti, presenti con 60 specie. Qui è possibile incontrare i delfini o partecipare al tartarughe *Caretta caretta* che, recuperate in condizioni di salute critiche e curate presso la Fondazione Cetacea di Riccione grazie ad un efficace progetto sinergico di conservazione, possono ritrovare la libertà. Del tutto eccezionale fu lo spiaggiamento nel novembre 2007 di una balenottera lunga oltre 17 metri, ritrovata su una platea rocciosa nei pressi delle Due Sorelle, di cui oggi è conservata una costola presso il Centro Visite del Parco Regionale Naturale a Sirolo.

Il legame dell'uomo con il mare riguarda certamente la pesca ma anche le leggende, gli ex voto conservati al santuario di Numana con il caratteristico Crocifisso di Cristo Re, l'ispirazione poetica e quella musicale, come testimoniano la poesia *Gabbiani* che Vincenzo Cardarelli compose proprio a Sirolo e l'opera *La campana sommersa* in cui il compositore Ottorino Respighi trasse spunto dallo sciabordio delle acque sullo scoglio del Trave. Legami profondi che vanno consolidati con rispetto, custoditi nella memoria e preziosi per riaffermare l'identità stessa di questo territorio. Proprio un pesce è effigiato nello stemma del Comune di Sirolo, che con legittimo orgoglio dal

1994 festeggia puntualmente la bandiera blu della FEE (Foundation for Environmental Education) per la qualità del suo mare e i servizi connessi. Il rapporto con un turismo sempre più importante nell'economia locale e la fragilità del territorio richiedono attenzioni e responsabilità diffusa tra amministratori e fruitori del Conero per dare concretezza duratura ed efficace al concetto di sostenibilità. La via dell'Area Marina Protetta, come richiesto dal parlamento italiano nella legge 394/91, può essere quella giusta.

### L'idea di un mare protetto

La prima proposta organica di tutela della costa del Conero fu elaborata dalla Provincia di Ancona, che nel marzo 1976 predispose uno specifico disegno di legge prevedendo un parco marino da affiancare a quello terrestre, a sua volta fasciato da una zona di preparco nel versante collinare che guarda verso gli Appennini. La Regione Marche, cui compete il potere legislativo, impiegò un decennio per istituire il primo parco regionale tutelando l'area di 6.000 ettari nel frattempo assoggettata a vincolo paesistico grazie alla Legge Galasso (legge 8/8/1985 n. 431), considerando però soltanto la parte terrestre. A Italia Nostra va il merito di aver presentato nell'ottobre 1989 la prima proposta tecnica per il parco marino, sottolineando così che la tutela del mare davanti al Conero, pur non essendo indicata tra le 20 riserve previste in fase di prima applicazione nella legge 31 dicembre 1982 n. 979, poteva essere un obiettivo concreto e realizzabile.

Con la legge quadro nazionale sulle aree naturali protette (legge 6/12/1991 n. 394) l'obiettivo riacquistò interesse, poiché tra le aree di reperimento previste per le aree marine protette stavolta c'era la costa del monte Conero. Su incarico del Ministero dell'Ambiente venne quindi svolta dal CNR una ricerca scientifica, iniziata nel 1998 e pubblicata nel 2003<sup>1</sup>, che prese in considerazione l'intero tratto di mare (circa 60 kmq) antistante il parco terrestre del Conero, fino alla batimetrica di 12 metri.

1. Fabi G., Marini M., Palladino S., a cura di, *L'area marina antistante il promontorio del monte Conero*, Ancona, CNR - Quaderni dell'Istituto Ricerche

Pesca Marittima, vol. 1 Nuova Serie, 2003.

Nel giugno 2005, il Ministero dell'Ambiente presentò una prima proposta di zonazione e normativa su un tratto di mare che si estende dal Cardeto di Ancona a Numana, includendo due zone A di maggior tutela (a nord del Trave e a sud della spiaggia Due Sorelle). Gli studi propedeutici e soprattutto la prima proposta del Ministero Ambiente (sia nella zonazione che nella parte di regolamento) diventarono oggetto d'intenso confronto, con richieste di parziali modifiche, ma in un contesto di sostanziale condivisione della proposta. Il 29 gennaio 2008 fu sottoscritto a Sirolo un primo protocollo d'intesa, firmato dai soggetti interessati (Regione Marche, Provincia di Ancona, Comune di Ancona, Comune di Sirolo e Parco del Conero). La Provincia comunicò allora al Ministero l'accordo raggiunto e il Ministero convocò una nuova riunione a Roma per il 13 febbraio 2008. Tuttavia, nonostante il promettente avvio, l'iter venne bloccato dalla crescente ostilità del Comune di Sirolo. Soltanto nel 2013, grazie anche a un rinnovato interesse espresso dal sindaco di Ancona Valeria Mancinelli e dal suo collega di Numana Marzio Carletti, l'iter per l'istituzione dell'AMP costa del Conero venne ripreso. Il 7 marzo 2014 nell'Aula del Mare di Ancona nacque il Comitato Promotore per l'Area Marina Protetta, composto da Legambiente Marche, Slow Food Ancona, Lega Pesca Marche, Cooperativa dei Pescatori di Portonovo e Parco Regionale del Conero. Il Comitato, aperto alle adesioni di tutti i soggetti che ne dividevano gli obiettivi, avrebbe lavorato con le istituzioni per arrivare in tempi brevi all'istituzione dell'Area Marina Protetta, incontrando cittadini e forze sociali per un'opera di sensibilizzazione e informazione.

Nel frattempo, a livello statale si registravano due importanti novità: il Parlamento nella legge finanziaria 2014 mise a bilancio nuovi fondi per l'istituzione di AMP, tra cui quella della costa del Conero, mentre il Ministero dell'Ambiente attraverso l'ISPRA provvide ad aggiornare i dati scientifici disponibili, approfondendo nel contempo il confronto con i portatori d'interesse. Dal mosaico dei valori ambientali, delle pressioni antropiche, e degli altri fattori conoscitivi venne

predisposta e consegnata, in data 1 febbraio 2016, una nuova ipotesi preliminare di zonazione e regolamentazione per le valutazioni di merito da parte dei Comuni. La decisione finale passava agli Enti locali, chiamati a definire il modello gestionale e ad esprimersi sui confini e sulle norme della stessa AMP. E qui calò il silenzio.

La fase successiva vide defilarsi i Comuni di Sirolo e Numana (che nel frattempo aveva espresso un nuovo sindaco), mentre il primo cittadino di Ancona lasciò aperta l'interlocuzione con il Ministero ma senza assumere alcun impegno. Così negli anni successivi, nonostante l'ampia disponibilità degli interlocutori del Ministero dell'Ambiente a rivedere sia la superficie sia le regole di gestione, il Comune di Ancona non decise mai, mettendo in atto una strategia di attesa infinita per mascherare il clamoroso voltafaccia rispetto all'entusiastico sostegno promesso all'AMP in campagna elettorale. Il 18 settembre 2019 venne costituito il Comitato "Insieme per l'area marina protetta del Conero" che raggruppava decine di associazioni ambientaliste, espressioni del mondo economico e dell'Università, con portavoce Roberto Danovaro. L'autorevolezza e i contenuti espressi dal Comitato si scontrarono presto con un'intensa campagna di disinformazione sostenuta da diportisti, vongolari e pescatori subacquei che si ostinavano ancora a prospettare minacce alle libertà di fruizione e all'economia del territorio.

Nel novembre 2019 il Ministero si vide costretto a sollecitare un pronunciamento definitivo sulla vicenda, ma quella lettera restò ancora senza risposta. Sarà invece il comitato a notificare al Ministero il 20 dicembre 2020 l'esito di una campagna di sensibilizzazione che in poco tempo aveva raccolto oltre 13.000 firme a sostegno dell'AMP (fig. 3). Il sindaco di Ancona, che fino a quel momento aveva gestito direttamente la vicenda, decise di coinvolgere il Consiglio Comunale per un pronunciamento formale e questo a sua volta ammise la propria scarsa conoscenza della tematica, chiedendo incontri di approfondimento. Degli anni successivi resta la cronaca della richiesta di referendum consultivo bocciata il 25 marzo 2022 dal Comune di Ancona, dopo una partenza lumaca della com-

missione referendaria e un interminabile approfondimento con una decisione, guarda caso, affidata a tre commissari forse non proprio “imparziali” viste le pubbliche dichiarazioni contrarie all’istituzione dell’AMP. Prende sempre più credito l’ipotesi di una lunga melina per arrivare alle ormai prossime elezioni senza decidere nulla, almeno formalmente, alla ricerca di consensi sia tra gli avversari dell’AMP che tra i suoi sostenitori. E

sarà bene chiarire che l’ultima versione di mappa e regolamento risponde esattamente a quanto chiesto dal Comune di Ancona, interlocutore unico di questa stagione dialettica con il Ministero Ambiente, che pure continua a esprimere perplessità per “mancanza di chiarezza”. Emblematica la questione della zona di riserva integrale: una volta ottenutane la cancellazione per facilitare un presunto maggior consenso all’AMP, ci si lamenta perché a questo punto appaiono ridotti i livelli di tutela e l’efficacia della conservazione proposta. Le entusiastiche dichiarazioni del sindaco Mancinelli nel 2014: “Ritengo che l’istituzione dell’area marina del Conero, a cui il Comune di Ancona ha dato da tempo la sua adesione convinta, rappresenti una tutela del pregio e della specificità del nostro territorio e possa essere un volano per green economy, ricerca scientifica e sviluppo sostenibile” (da Ancona Today 9 gennaio 2014) sono ormai acqua passata. La “rispettosa attenzione” garantita ai portatori di interessi contrari all’istituzione dell’AMP ha portato a maturare un’altra visione politica, che tuttavia fatica a ritrovare una credibilità senza dimenticare quel passato. Adesso sembra che parlare di AMP nel palazzo del “buon” governo susciti un certo fastidio, perfino. Insomma, di questa vicenda resta soprattutto l’imbaraz-



**Figura 3. Il comitato per l’istituzione dell’AMP del Conero raccolse in poche settimane oltre 13.000 firme. La foto rappresenta lo scoglio del Trave, semi-sommerso, al cui riparo sono ancorate numerose barche da diporto in una normale giornata estiva.**

zante silenzio di una politica incapace di chiedere il pronunciamento dei cittadini su un argomento di primario interesse collettivo, condizionata come è da circoscritti ma agguerriti interessi categoriali. Le Marche, nonostante i 170 chilometri di costa e preziosi tratti di elevato pregio ambientale come il Conero, continuano a figurare tra le pochissime regioni prive di aree marine protette. L’obiettivo di salvaguardare il 30% del territorio terrestre e marino entro il 2030, richiesto dall’Europa e ribadito nel documento approvato alla COP 15 di Montreal nel dicembre scorso, rischia di diventare un altro clamoroso fallimento nel governo del territorio e nella tutela della biodiversità. Nel nostro paese il processo di definizione della Strategia Nazionale per la Biodiversità al 2030, in adesione alla Strategia Europea, è stato avviato già due anni fa ma non trova ancora una definizione. Nei prossimi sette anni, i Paesi firmatari dovranno impegnarsi per dare vita a nuovi parchi e aree marine e porre fine al consumo di suolo, alla cementificazione e alla deforestazione. ●

---

## Il mare del Conero: una ricchezza (anche economica) da proteggere

Emanuela Fanelli

---

The well-being and survival of our species are closely connected to the ecosystems in which we live and depend on the ecosystem services that these can provide, such as water, food, oxygen production, etc. Biodiversity is one of the most important of these services, to ensure food production, implement climate regulation and, last but not least, produce cultural value. Marine Protected Areas (MPAs) have the primary function of protecting biodiversity and therefore can provide important ecosystem services. A MPA allows you to control and manage human activities and uses of the sea in a sustainable way, promote the recovery of exploited marine populations, facilitate the conservation and restoration of habitats and biodiversity, manage and improve ecosystem services in general. Protecting biodiversity, such as that which characterizes the Conero coast, through the establishment of MPAs is a moral duty of every citizen, as enshrined in our Constitution, also in the interest of future generations.

Keywords: *Conero area, Marine protected areas, Biodiversity*

---

*La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica [cfr. artt. 33, 34]. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione. Tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni. La legge dello Stato disciplina i modi e le forme di tutela degli animali.*  
(art. 9 della Costituzione Italiana)

### Introduzione

Il benessere e la sopravvivenza della nostra specie sono strettamente connessi agli ecosistemi in cui viviamo e dipendono dai servizi ecosistemici (SE) che questi possono fornire, come ad esempio l'acqua, il cibo, la produzione di ossigeno ecc. Tali servizi ecosistemici sono stati definiti nel 2005 dal "Millennium Ecosystem Assessment" (MEA, 2005)<sup>1</sup>, come "i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano". Si tratta essenzialmente dell'intera gamma di componenti naturali, dagli organismi viventi, all'aria, acqua, suolo e risorse geologiche, che possono fornire beni e servizi di valore, diretto o indiretto, per l'uomo e che sono necessari per la sopravvivenza dell'ambiente stesso da cui sono generati (fig. 1).



**Coppia di tursiopi (*Tursiops truncatus*). Riviera del Conero, foto Raul Vicen.**

1. Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC, 2005.



**Figura 1.** Schema a cascata che mostra come la fornitura naturale di servizi ecosistemici contribuisce al benessere umano. Da Liqueete et al., *Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review*, PLoS ONE 8(7): e67737, 2013.

I servizi ecosistemici sono catalogati in 4 principali categorie:

1. *servizi di approvvigionamento* (cibo, acqua, legname, fibre, risorse genetiche e prodotti farmaceutici);
2. *servizi di regolazione* (controllano il clima, la qualità dell'aria e dell'acqua, l'erosione, le malattie, i parassiti, rifiuti e pericoli naturali);
3. *servizi di supporto* (ciclo dei nutrienti e dell'acqua, formazione del suolo e produzione primaria);
4. *servizi culturali* (forniscono benefici ricreativi, estetici e spirituali).

Secondo il MEA, circa il 60% dei SE è degradata, compresa la pesca.

La *Convention on Biological Diversity* (CBD)<sup>2</sup>, definita nel corso dell'Earth Summit del 1992 a Rio de Janeiro, indica la biodiversità come la "varietà e variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono", evidenziando che essa include la diversità a livello genetico, specifico ed ecosistemico. Come tale la biodiversità è uno dei più importanti servizi che il nostro pianeta ci offre, ed è annoverabile in ciascuna delle categorie sopra elencate. Ad esempio, la capacità di immagazzinare il carbonio è solo uno dei servizi che possono derivare da un ecosistema

sano ad elevata biodiversità (molteplice varietà di piante in grado di effettuare la fotosintesi, e quindi di assorbire carbonio, a diverse temperature e lunghezze d'onda della luce). L'impollinazione (attualmente un servizio ecosistemico valutato oltre 112 miliardi di dollari all'anno è in declino), le difese costiere naturali costituite da sistemi di dune o piante sommerse, come la *Posidonia oceanica* endemica del nostro Mar Mediterraneo, qualità e abbondanza delle acque (stimate in 30 miliardi di dollari a livello globale), sono tutti servizi che possono essere collegati alla biodiversità. Tutelare la biodiversità vuol dire quindi garantire un buon funzionamento degli ecosistemi, in modo che possano continuare a fornire beni e servizi ecosistemici per il nostro benessere, quando non per la nostra stessa sopravvivenza.

Attualmente il declino della biodiversità procede con una progressione senza precedenti e il ritmo di estinzione delle specie è considerato da 100 a 1.000 volte superiore a quello registrato in epoca pre-umana. È in corso la "sesta estinzione"<sup>3</sup>, iniziata appunto circa duecentomila anni fa quando, in una ristretta porzione dell'Africa orientale, comparve una nuova specie animale, *Homo sapiens*.

2. [www.cbd.int](http://www.cbd.int)

3. Kolbert E, *La sesta estinzione. Una storia innaturale*, Milano, Neri Pozza, 2014.

Una delle strategie a livello globale, europeo o nazionale, per contrastare la perdita di biodiversità, è quella di concentrare gli sforzi di protezione su quelli che vengono definiti hotspot di biodiversità, ovvero regioni della Terra caratterizzate da elevati livelli di diversità biologica e da un'alta proporzione di specie endemiche, e maggiormente minacciate dalle attività antropiche.

### La biodiversità del Mediterraneo

In questo contesto il Mediterraneo rappresenta uno dei 25 hotspots elencati da Myers<sup>4</sup>, i quali ospitano il 44% di tutte le specie presenti sul pianeta e il 35% dei vertebrati. L'Italia, con la sua posizione centrale all'interno del bacino Mediterraneo, è caratterizzata da un patrimonio di biodiversità tra i più significativi in ambito europeo sia per numero totale di specie animali e vegetali, sia per l'alto tasso di endemismi. Un'incredibile ricchezza dovuta alla grande diversità di substrati, morfologie e climi che caratterizza il nostro Paese, nonché alla sua storia paleogeografica e paleoclimatica. Le conoscenze attuali annoverano un numero incredibile di specie vegetali (circa 1.169 Briofite, 2.704 Licheni e 8.195 entità di Piante vascolari)<sup>5</sup> e circa 60.000 specie animali. La componente marina è caratterizzata da una ricchissima flora con circa 2.800 specie, di cui oltre 1.400 fitoplanctoniche, mentre la fauna è stimata in oltre 9.300 specie (di cui poco più di 1.000 Protozoi). In sintesi, la biodiversità del Mediterraneo rappresenta, a seconda dei gruppi tassonomici, dal 4 al 25% della diversità di specie marine globali. Il Mediterraneo contiene circa il 7,5% delle specie mondiali in una superficie pari a 0,82%. Tra le specie endemiche più minacciate, non solo la foca monaca (il cosiddetto "bue marino" a cui sono dedicate molte grotte nel nostro bacino a testimonianza dell'abbondanza della

specie in passato), di cui rimangono meno di 700 esemplari in natura, ma anche la *Patella ferruginea*, la patella più grande del Mediterraneo con più di 10 cm di lunghezza, corre grandi rischi. Un'altra specie a rischio di estinzione è la *Pinna nobilis* il più grosso e longevo mollusco bivalve del Mediterraneo. In questo caso, la comparsa di un agente patogeno, il protozoo *Haplosporidium pinnae*<sup>6</sup>, in sinergia con batteri del genere *Mycobacterium*, sta causando un'altissima mortalità delle popolazioni di questa specie endemica protetta. La specie rischia l'estinzione e sarebbe un'insostituibile perdita non solo per il suo valore storico/culturale (il bisso della pinna veniva chiamato seta marina<sup>7</sup>) e di identità ma anche per quello ecologico: infatti la *Pinna nobilis* con le sue estese e dense popolazioni riesce, forse è meglio dire riusciva, a formare un substrato duro sui fondali sabbiosi offrendosi alla colonizzazione di altri organismi e contribuendo enormemente al mantenimento di un alto livello di biodiversità.

### Biodiversità del Conero

Il promontorio, o Monte, del Conero è l'unica emergenza rilevante (572 metri) a picco sul mare da Trieste al Gargano, è il cuore del Parco Regionale del Conero, istituito nel 1991, in simbiosi con le città di Ancona e Camerano, e con i centri turistici di Sirolo e di Numana. I fondali prospicienti il parco del Conero sono caratterizzati da banchi di sabbia alternati a substrati rocciosi di varia natura ed ospitano comunità uniche di organismi marini. Moltissime sono le specie presenti, tra cui diverse specie elencate nelle liste di specie e habitat protetti della Direttiva europea "Habitat" (CE 92/43)<sup>8</sup>, o classificate come minacciate dalla IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura). Tra gli habitat annoverati in tale direttiva troviamo infatti i cosiddetti

4. Myers N, Mittermeier R, Mittermeier C et al. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*, Nature 403, 853-858, 2000

5. [www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita](http://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita)

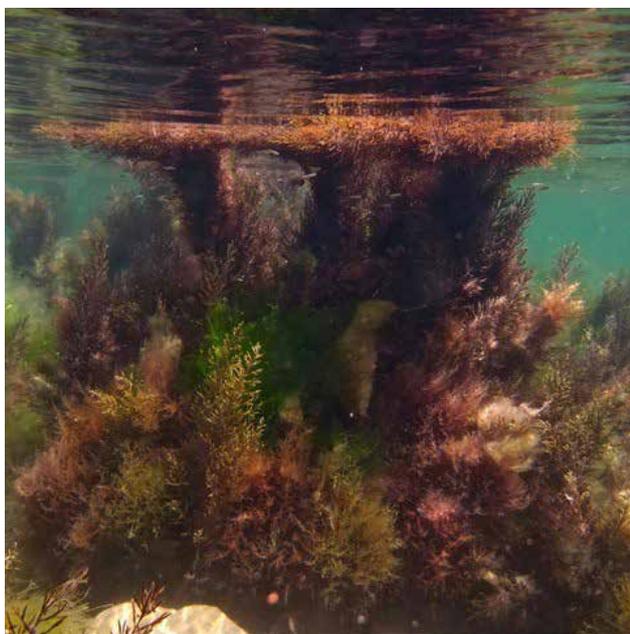
6. Carella F, Antuofermo E, Farina S et al., *In the Wake of the Ongoing Mass Mortality Events: Co-occurrence of Mycobacterium, Haplosporidium and Other Pathogens in Pinna nobilis Collected in Italy and Spain*

(*Mediterranean Sea*), *Frontiers in Marine Science*, 7, 2020.

7. [www.tessutietendaggipanini.it/blog/tessuto-bisso-dizionario-dei-tessuti/](http://www.tessutietendaggipanini.it/blog/tessuto-bisso-dizionario-dei-tessuti/)

8. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:IT:PDF>

“banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina” (Habitat 1110), le “scogliere” (Habitat 1170), tra cui si annoverano anche le foreste di macroalghe del genere *Cystoseira*, come *Gongolaria barbata* (fig. 2), e le “grandi cale e baie poco profonde” (Habitat 1160), mentre le specie sorvegliate qui presenti sono la già citata *Pinna nobilis* e il dattero di mare *Lithophaga lithophaga*. Numerose anche le specie ittiche, incluse quelle commerciali, quali saraghi, mormore, spigole e orate, o specie carismatiche come il cavalluccio marino (fig. 3).



**Figura 2. Foresta di macroalghe con dominanza di *Gongolaria barbata*, Riviera del Conero, foto di Francesco Martini.**



**Figura 3. Cavalluccio marino (*Hippocampus guttulatus*), Riviera del Conero, foto di Francesco Martini.**



**Figura 4. Nudibranchi della Riviera del Conero, foto di Francesco Martini.**

Di particolare interesse per l'area è inoltre l'incredibile biodiversità di nudibranchi (fig. 4), con ben 58 specie censite<sup>9</sup>, osservabili con un po' di attenzione anche nelle «piscinette» del Passetto nelle giornate calde di fine primavera.

Come accennato sopra, l'ecosistema terrestre è protetto come Parco regionale, mentre per quanto riguarda l'ambiente marino sono presenti due SIC (siti di interesse comunitario, “IT5320005 - *Coast between Ancona and Portonovo*” e “IT5320006 - *Portonovo and limestone cliff at sea*”), che non rappresentano di fatto delle reali misure di protezione non essendovi nessun organo preposto al controllo, né alcun piano di gestione<sup>10</sup>.

### **Perché istituire un'area marina protetta e perché nella costa del Conero**

La conservazione del capitale naturale (per definizione uno stock di materiale e informazioni disponibile in un determinato momento, che genera

9. Betti F, *Il regno dei nudibranchi*, Imola, Editrice La Mandragora, 2011.

10. [www.ambiente.marche.it/Portals/0/Ambiente/Natura/Comunicazione/Biblioteca/Relazione\\_tecnica\\_2.pdf](http://www.ambiente.marche.it/Portals/0/Ambiente/Natura/Comunicazione/Biblioteca/Relazione_tecnica_2.pdf)

un flusso di servizi, la natura stessa è dunque un capitale) non deve essere considerata una esibizione modaiola, appannaggio di pochi ecologi ed ambientalisti. La conservazione della biodiversità è fondamentale per garantire il mantenimento dei servizi ecosistemici (di cui sopra) e permettere un uso sostenibile delle risorse naturali. Sviluppo sostenibile significa “riuscire a soddisfare i bisogni dell’attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere ai loro” (Dichiarazione ONU, Stoccolma 1972). Durante un convegno in cui si illustravano i vantaggi dell’istituzione dell’Area Marina Protetta del Conero, intervenne uno dei cosiddetti “stakeholder”, ovvero portatori di interesse, nella fattispecie un “vongolaro” ovvero un operatore del settore pesca che utilizza turbosoffianti per la raccolta di molluschi bivalvi, primariamente vongole (in Nord e centro Adriatico il principale target è *Chamelea gallina*). In tono battagliero, alla fine dell’intervento di chi scrive, proruppe con “E cosa gli do da mangiare ai miei figli, se mi chiudete una delle aree dove vado a pescare, la biodiversità?”. Riporto questo episodio come indicatore del problema di fondo, cioè la mancanza di percezione del capitale naturale come bene comune da preservare, affinché non solo noi oggi ne possiamo trarre vantaggio, ma di cui possano beneficiare (e aggiungerei trarre sussistenza) anche le generazioni future, come sancito dall’articolo 9 della nostra Costituzione.

Un’Area Marina Protetta è l’unica misura gestionale davvero efficace per raggiungere tale fine. Le AMP sono infatti strumenti di gestione importanti a livello globale, utili a:

1. controllare e gestire le attività umane e gli usi del mare;
2. promuovere il recupero delle popolazioni marine sfruttate;
3. conservare o ripristinare gli habitat, la biodiversità e le reti trofiche;
4. gestire e migliorare i servizi ecosistemici come la produzione di cibo, la purificazione dell’acqua o le attività ricreative.

Grazie inoltre ai diversi tipi di zonazione, ciascuno stabilito in base a specifici obiettivi di gestio-

ne, le AMP possono ridurre i conflitti e consentire la coesistenza di diversi usi delle risorse. Le AMP sono inoltre degli strumenti di gestione chiave per garantire la fornitura di servizi ecosistemici marini e contribuire dunque al benessere umano, in accordo allo schema illustrato sotto.

Numerosissimi sono gli studi che al livello globale o semplicemente mediterraneo hanno analizzato il contributo delle AMP al benessere individuale e sociale. Tra questi un’interessante ricerca pubblicata nel 2011 presenta un’analisi del rapporto costi-benefici in 12 AMP mediterranee<sup>11</sup>. In quest’analisi si sono differenziati gli utenti che ottengono “merci” (pescatori commerciali) dagli utenti ricreativi (pescatori ricreativi e subacquei). Si è osservato che il reddito generato dalle AMP è generalmente alto, in particolare per quanto concerne la pesca commerciale e le immersioni subacquee ricreative. A titolo di esempio i redditi monetari annuali medi generati localmente dagli usi in AMP ammontano a circa 710 k€/AMP per la pesca professionale (con valori variabili tra 48 k€ per le Isole Medas e 1.573k€ per le isole Columbretes), 551 k€/AMP per le immersioni subacquee (con valori tra 16k€ per l’AMP di Tabarca e 1.099 k€ per le Isole Medes), e 88 k€/AMP per la pesca ricreativa (tra 35 k€ per l’AMP La Graciosa e 211 k€ per l’AMP Monte da Guia). È evidente come il contributo ai diversi settori economici variasse notevolmente da un luogo all’altro, in accordo alle dimensioni dell’AMP, la distanza dalla costa, la presenza di porti ecc. Inoltre, gli autori sottolineano come il valore totale sia sempre sottostimato perché la misurazione dei valori non di mercato, inclusi i valori di non utilizzo come il valore della biodiversità marina, è un compito difficile. Anche la valutazione dell’impatto di un’AMP utilizzando alcuni valori di mercato specifici (ad esempio, la rendita della pesca) può essere problematica

11. Leenhardt P et al., *The Role of Marine Protected Areas in Providing Ecosystem Services*, Aquatic Functional Biodiversity, 211-239, 2015.

Pascal N e Seidl A, *Economic benefits of marine protected areas: case studies in Vanuatu and Fiji, South Pacific. Research report*, AFD/IUCN, Mooréa, French Polynesia, French Framework Agreement by CRIOBE (EPHE/CNRS), 2013.

a causa di informazioni quantitative limitate non alla base dei processi ecologici (ad esempio, spillover di larve e forme giovanili dalle AMP alle zone di pesca)<sup>12</sup>. Alcuni esempi concreti riportati di seguito riguardano aspetti che possono essere di interesse per la riviera del Conero.

*Servizi di approvvigionamento (pesca).*

La mortalità derivante dalla pesca viene immediatamente eliminata con l'istituzione delle AMP, in particolare nel caso di presenza di una zona A, ove tali attività sono interdette. Le specie target vivono più a lungo e raggiungono dimensioni maggiori. Si osserva un aumento di densità e dimensioni di pesci e invertebrati, con conseguente aumento della produzione riproduttiva e del reclutamento. Cessano inoltre gli effetti negativi sugli habitat associati all'uso di metodi di pesca distruttivi. Il recupero dell'habitat biogenico esercita di conseguenza un'influenza positiva sul reclutamento e la sopravvivenza dei pesci. Infine sul medio-lungo termine la qualità dell'habitat è migliorata, l'età della popolazione pre-raccolta e la struttura dimensionale sono ristabilite, e la complessità delle reti trofiche aumenta per maggiore diversità e recupero dei predatori (che sono i principali obiettivi della pesca). Effetti benefici sulla pesca avvengono grazie all'export di pesci oltre i confini dell'AMP (il cosiddetto "spillover") e/o se le uova e le larve vengono esportate dall'AMP verso l'esterno ("semina") (fig. 5). In AMP con confini permeabili, lo spillover induce un aumento delle catture per unità di sforzo (CPUE) di specie bersaglio nelle zone di pesca circostanti<sup>13</sup>.

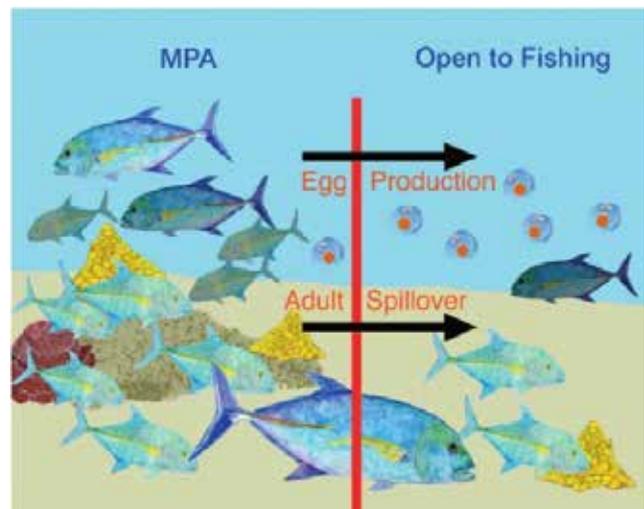
*Servizi di regolazione (sequestro di carbonio e regolazione del clima).*

Una stima approssimativa suggerisce che le macroalghe potrebbero sequestrare circa 173 Mt/

anno a livello globale. Circa il 90% di questo sequestro avviene attraverso l'export in acque profonde e il resto attraverso l'interramento nei sedimenti costieri. Questa stima supera di gran lunga quella del carbonio sequestrato negli habitat costieri ad opera di angiosperme (es. *Posidonia*).

*Servizi di supporto (produzione primaria e protezione costiera).*

Le AMP contribuiscono alla protezione di specie vegetali, sia macroalghe che fanerogame, produttori primari di ossigeno, materia organica e sequestratori per eccellenza di CO<sub>2</sub>, necessaria per il processo di fotosintesi. Le AMP forniscono protezione a specie fondatrici come i coralli delle barriere coralline, le fanerogame marine, alghe e mangrovie. Queste specie producono strutture fisiche che forniscono barriere naturali contro moto ondoso, uragani, tifoni e livelli elevati del mare, fornendo così protezione a persone e habitat costieri critici. Nell'area del Conero le numerose



**Figura 5. I due effetti benefici per la pesca generati dalle AMP. Lo spillover di adulti dalle aree protette a quelle circostanti e l'export di uova.**

12. Pascal N e Seidl A, *Economic benefits of marine protected areas: case studies in Vanuatu and Fiji, South Pacific. Research report*, AFD/IUCN, Mooréa, French Polynesia, French Framework Agreement by CRIOBE (EPHE/CNRS), 2013.

13. Goñi R, Hilborn R., Diaz D, Mallol S, Adlerstein S, *Net contribution of spillover from a marine reserve to fishery catches*, Mar. Ecol. Prog. Ser., 400, 233-243, 2010.

specie di macroalghe bentoniche, *habitat forming species*, ovvero specie che possono creare habitat, contribuiscono alla protezione della costa.

*Servizi culturali (turismo, attività ricreative).*

Le AMP migliorano lo sviluppo di attività non estrattive, rendendo gli utenti ricreativi i principali beneficiari della conservazione marina. Le AMP forniscono servizi ricreativi fondamentali attraverso le entrate del turismo. Gli effetti delle AMP derivano direttamente dal fatto che all'ambiente marino viene garantito un elevato livello di protezione contro le pressioni antropiche. La protezione a sua volta migliora la qualità di alcuni attributi, come la presenza di specie carismatiche e/o le specie che formano l'habitat.

Come illustrato, in questa breve narrazione (la letteratura in merito è ampissima e fornisce molti dati e casi studio), le AMP costituiscono uno strumento essenziale per la protezione e la conservazione degli ecosistemi marini e dei servizi associati nel lungo termine (fig. 6). Tuttavia le AMP richiedono una gestione adeguata per rag-

giungere gli obiettivi fissati, ottenibile solo grazie a una giusta pianificazione delle attività permesse all'interno della rete di aree protette, che tengano in considerazione quali siano gli ecosistemi più vulnerabili.

La Strategia Europea sulla Biodiversità per il 2030 fornisce opportunità concrete per impedire la perdita di ecosistemi e biodiversità, aumentando fino al 30% le aree protette nei mari europei, con almeno il 10% di aree strettamente protette. La riviera del Conero può rappresentare in tal senso una grande opportunità, per contribuire agli obiettivi della Strategia 30x30, considerando che lungo la costa Adriatica non vi sono AMP tra Miramare (Friuli Venezia Giulia) a Torre del Cerrano (Abruzzo).

La riviera del Conero è uno degli ultimi hotspot di biodiversità nella costa occidentale dell'Adriatico centro-settentrionale, le AMP sono strumenti fondamentali per mitigare l'attuale crisi ambientale e permettono di evitare la perdita di biodiversità. Le AMP creano benefici anche alle comunità locali, creando opportunità di lavoro e aumentando il turismo... e allora che cosa stiamo aspettando? ●



Figura 6. Impatto delle AMP sulle attività umane.

---

## Paesaggi sonori sottomarini dell'area del Conero e dell'Alto Adriatico

Underwater sound sources can be natural or related to human activities, and the latter can have a negative impact on marine fauna. The Italy-Croatia project "SOUNDSCAPE" for the first time performed a monitoring of underwater noise pollution in the Upper Adriatic between February 2020 and July 2021. The collected data, including also the period of COVID-19, show that the underwater noise levels in the Upper Adriatic are similar to those of the Baltic, a highly trafficked area. As part of the project, the CNR-IRBIM monitoring station in Ancona stands out for the peculiarity of its position, located in the stretch of sea potentially affected by the establishment of the Conero Marine Protected Area. The data collected on the soundscape of the area provided information on the levels of underwater noise pollution, on the sounds emitted by the marine organisms present and on the local acoustic biodiversity, confirming the important naturalistic importance of the area.

Keywords: *Underwater sound, Acoustic biodiversity, Conero Marine Protected Area*

---

Iole Leonori,  
Fantina Matricardo

---

I suoni sottomarini provengono da una molteplicità di fonti, sia naturali che legate alle attività umane. I suoni naturali includono quelli generati da un ampio numero di organismi marini, ma anche da onde, pioggia, vento e movimenti del fondale marino. I rumori antropogenici, invece, derivanti dalle attività umane in mare, comprendono il trasporto marittimo, la pesca, la costruzione di piattaforme in mare e le indagini sismiche per la ricerca di idrocarburi.

La luce nell'acqua non si propaga molto lontano, quindi gran parte della fauna marina utilizza il suono, la pressione sonora e/o le vibrazioni per percepire il mondo che la circonda. Pertanto, la presenza di rumore antropogenico influisce su numerose specie che popolano il nostro mare. Esso infatti può interferire con diverse funzioni vitali degli organismi, quali l'orientamento, la comunicazione, la ricerca di cibo e la riproduzione, ostacolando, mascherando e alterando il comportamento delle specie. Inoltre può arrivare a causare la perdita della capacità uditiva e alterazioni fisiologiche<sup>1</sup>.



1. Williams R, Wright AJ, Ashe E, Blight LK, Bruintjes R, Canessa R, Clark CW, Cullis-Suzuki S, Dakin DT, Erbe C, Hammond PS, Merchant ND,

O'Hara PD, Purser J, Radford AN, Simpson SD, Thomas L, Wale, MA, *Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new di-*

*scouvertes, and future directions in research and management*, Ocean and Coastal Management, 115:17–24, 2015.

Il rumore antropogenico sottomarino è stato di conseguenza ufficialmente riconosciuto come inquinante emergente a livello internazionale, ed è entrato nella legislazione Europea con la Marine Strategy Framework Directive (MSFD) nel 2008, la quale individua undici Descrittori ambientali da monitorare per raggiungere il buono stato ecologico dei mari degli stati membri. In particolare il Descrittore 11 include il rumore sottomarino come una fonte di disturbo per l'ambiente che deve essere monitorata e mantenuta sotto livelli tali da "non generare effetti avversi nell'ecosistema marino"<sup>2</sup>.

Ad oggi, il rumore sottomarino è ancora un inquinante di cui sappiamo molto poco, soprattutto nel Mediterraneo e, in particolare, nel mare Adriatico, un mare ricco di biodiversità ma allo stesso tempo vulnerabile, teatro di numerose attività antropiche e area di grande traffico marittimo.

Proprio per capire quale sia il paesaggio sonoro sottomarino dell'Alto Adriatico, il progetto Italia-Croazia "SOUNDSCAPE. Paesaggi sonori nel mare Adriatico settentrionale e il loro impatto sulle risorse biologiche marine" (<https://www.italy-croatia.eu/web/soundscape>) ha per la prima volta monitorato l'inquinamento acustico sottomarino in alto Adriatico da febbraio 2020 a luglio 2021. Il progetto è stato finanziato dalla Commissione Europea attraverso il Fondo europeo di sviluppo regionale (European Regional Development Fund), e aveva come capofila l'Istituto di Oceanografia e Pesca di Split e come partner il Consiglio Nazionale delle Ricerche, con l'Istituto di Scienze Marine di Venezia (CNR-ISMAR) e

l'Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine di Ancona (CNR-IRBIM), il Blue World Institute di Lošinj, l'Arpa Friuli Venezia Giulia, la Fondazione Cetacea, la Regione Marche, il Ministero Croato dell'Economia e dello Sviluppo Sostenibile e l'Istituto per la Salute Pubblica di Rijeka. L'obiettivo principale era non solo di valutare per la prima volta i livelli di inquinamento acustico in alto Adriatico, ma anche di comprendere le sue conseguenze sull'ecosistema marino.

Il suono sottomarino è stato quindi monitorato in nove stazioni situate lungo le coste italiane, croate e in acque internazionali. I dati acustici sono stati acquisiti grazie ad un sistema di registrazione, comprendente un idrofono (sensore acustico subacqueo) omnidirezionale, implementato in un *mooring* (sistema di ancoraggio) verticale appositamente realizzato per il progetto. Le registrazioni raccolte, anche durante il periodo del COVID-19, costituiscono un insieme di dati unico che sarà a breve pubblicato<sup>3</sup> e che dimostra che l'alto Adriatico ha dei livelli di rumore sottomarino simili a quelli del Baltico, altra area molto trafficata.

All'interno del perimetro di questo progetto, la stazione di monitoraggio MS3 dell'Istituto CNR-IRBIM di Ancona si distingue per la peculiarità della sua posizione, situata poco a largo della città di Sirolo (AN), di fronte l'Area Protetta Habitat Natura 2000 del Parco del Monte Conero, nel tratto di mare potenzialmente interessato dall'istituzione dell'Area Marina Protetta del Conero (fig. 1).

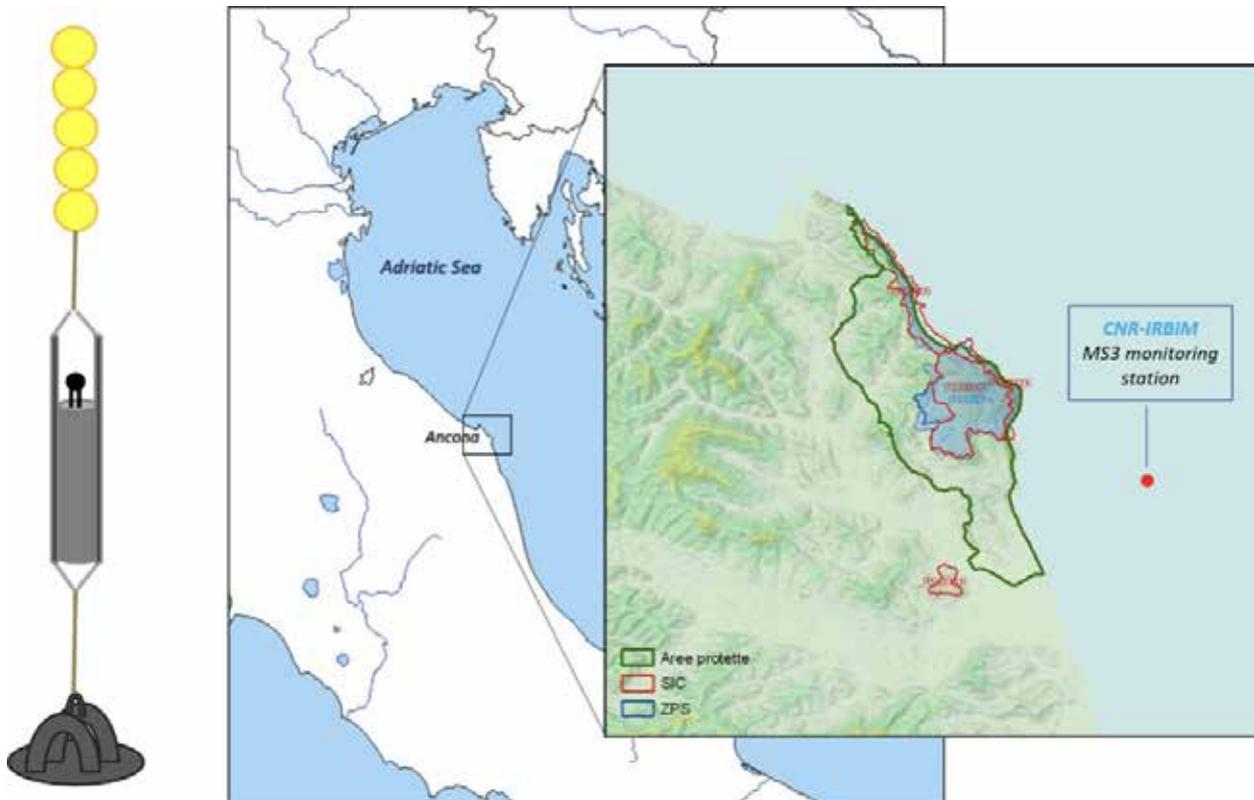
2. European Parliament and the council of the European Union, *The marine strategy framework directive*. European Union, 19(3):95-97, 2008.

3. Petrizzo A, Barbanti A, Barfucci G, Bastianini M, Biagiotti I, Bosi S, Centurelli M, Chavanne R, Codarin A, Costantini I, Cukrov Car M, Dadić V, Falcieri MF, Falkner R, Farella G, Felli M, Ferrarin C, Folegot T,

Gallou R, Galvez D, Ghezzi M, Kruss A, Leonori I, Menegon S, Mihanović H, Muslim S, Pari A, Pari S, Picciulin M, Pleslić G, Radulović M, Rako-Gospić N, Sabbatini D, Soldano G, Tegowski J, Vučur-Blazinić T, Vukadin P, Zdroik J, Madricardo F, *First assessment of underwater sound levels in the Northern Adriatic Sea at a basin scale*. Scientific Data, (2023) [Submitted]; Picci-

ulin M., Barbanti A., Barfucci G., Bastianini M., Biagiotti I., Centurelli M., Chavanne R., Codarin A., Costantini I., Cukrov Car M., Dadić V., Falcieri M. F., Falkner R., Farella G., Felli M., Ferrarin C., Folegot T., Gallou R., Galvez D., Ghezzi M., Leonori I., Menegon S., Mihanović H., Muslim S., Pari A., Pari S., Petrizzo A., Pleslić G., Radulović M., Rako-Gospić N., Sabbatini D., Soldano G.,

Tegowski J., Vučur-Blazinić T., Vukadin P., Zdroik J., Madricardo F., *Yearly underwater sound levels recorded on nine transnational stations in the Northern Adriatic Sea, (2023)* [In preparation].



**Figura 1. Posizione della stazione di monitoraggio MS3 dell'Istituto CNR-IRBIM di Ancona. Sulla sinistra una rappresentazione schematica del mooring installato a mare, composto da: peso di zavorra in basso, strumento di registrazione acustica e boe di stabilizzazione verticale in alto.**

In questa stazione, gestita dal team di ricercatori composto da Michele Centurelli, Ilaria Biagiotti e Ilaria Costantini, sotto la responsabilità scientifica di Iole Leonori, sono stati raccolti per oltre un anno e mezzo preziosi dati del paesaggio sonoro della zona, in grado di fornirci non solo informazioni sui livelli di inquinamento acustico sottomarino, ma anche importanti dettagli sui suoni emessi dagli organismi marini presenti nell'area e in generale sulla biodiversità acustica locale. I risultati ottenuti nella stazione di Ancona, presentati al pubblico durante l'evento Ancona Blue Life Fest nel 2021<sup>4</sup> e in fase di pubblicazione in riviste scientifiche<sup>5</sup>, confermano ancora una volta l'importante rilevanza naturali-

stica dell'area. I livelli di inquinamento acustico risultano infatti notevolmente inferiori alle medie dell'intero Nord Adriatico, andando così a determinare un'area di relativa silenziosità, e quindi una potenziale e preziosa oasi da preservare in questo mare altamente sfruttato.

Inoltre, lo studio delle registrazioni ha messo in luce la biodiversità acustica della zona, apprezzabile grazie all'individuazione di numerose specie diverse di organismi marini capaci di produrre suoni. Già ad un preliminare scrutinio dei dati acquisiti, si segnalano passaggi di tursiopi, gamberi pistoleri del genere *Alpheus*, e diverse specie di pesci, alcune delle quali particolarmente criptiche, come *Ophidion rochei*, specie sconosciuta ai

4. Leonori I, Biagiotti I, Costantini I, Centurelli M, *SOUNDSCAPE Paesaggi sonori nel Mare Adriatico settentrionale e loro impatto sulle*

*risorse biologiche marine: un idrofono al largo di Sirolo*, Ancona Blue Life Fest:26-27 giugno 2021, Ancona, .

5. Centurelli M, Biagiotti I, Costantini I, Leonori I, *Long-term monitoring of the underwater soundscape in a future potential Marine Protected*

*Area of Italian Central-Northern Adriatic Sea, including the COVID-19 lockdown period*, (2023), [In preparation].

più ma presente nelle nostre acque e individuabile attraverso l'inequivocabile traccia acustica dei suoi vocalizzi (fig. 2).

Inoltre, merita una menzione particolare il periodo del lockdown legato alla pandemia da COVID-19, avvenuto nel marzo-maggio 2020. Infatti, con l'analisi dei livelli di rumore antropico misurati durante il lockdown si osserva che, in questa zona, si è verificato un repentino e significativo abbassamento delle intensità sonore legate alle emissioni da traffico marittimo, sottolineando come un mare meno trafficato determina immediati benefici al paesaggio acustico sottomarino, aprendo di conseguenza numerosi potenziali scenari di gestione e mitigazione del problema.

È importante dunque includere nella pianificazione spaziale marittima, delle misure che gli *stakeholder* possano implementare per mitigare l'impatto dell'inquinamento acustico sulla biodiversità, consentendo al contempo lo sviluppo sostenibile dell'economia blu. SOUNDSCAPE, in risposta a questa esigenza, ha iniziato a sviluppare uno strumento ad hoc per l'intero bacino del nord Adriatico, che include le mappe di rumore sottomarino

ottenute grazie a un modello matematico di propagazione del suono, calibrato con i dati provenienti dalle stazioni di monitoraggio, includendo inoltre le informazioni disponibili sulla distribuzione delle specie vulnerabili target del progetto ovvero i tursiopi e le tartarughe marine. Il CNR-ISMAR di Venezia sta attualmente migliorando questo strumento, che ha permesso di individuare alcune possibili misure di mitigazione, nell'ambito del progetto H2020 SATURN (<https://www.saturnh2020.eu/>) che coinvolge 20 partner, esperti in bioacustica, biologia marina, ingegneria e architettura marittima e del settore navale provenienti da 9 diversi paesi europei impegnati nello sviluppo di nuove soluzioni per far fronte al problema dell'inquinamento acustico sottomarino.

L'Istituto CNR-IRBIM di Ancona sta proseguendo il lavoro di raccolta delle registrazioni acustiche nel tratto di mare antistante il Monte Conero iniziato nel febbraio 2020. Ulteriori studi verranno quindi svolti per continuare a monitorare i livelli di inquinamento acustico della zona e per studiare e conoscere la biodiversità sonora in questa cruciale area sottomarina. ●

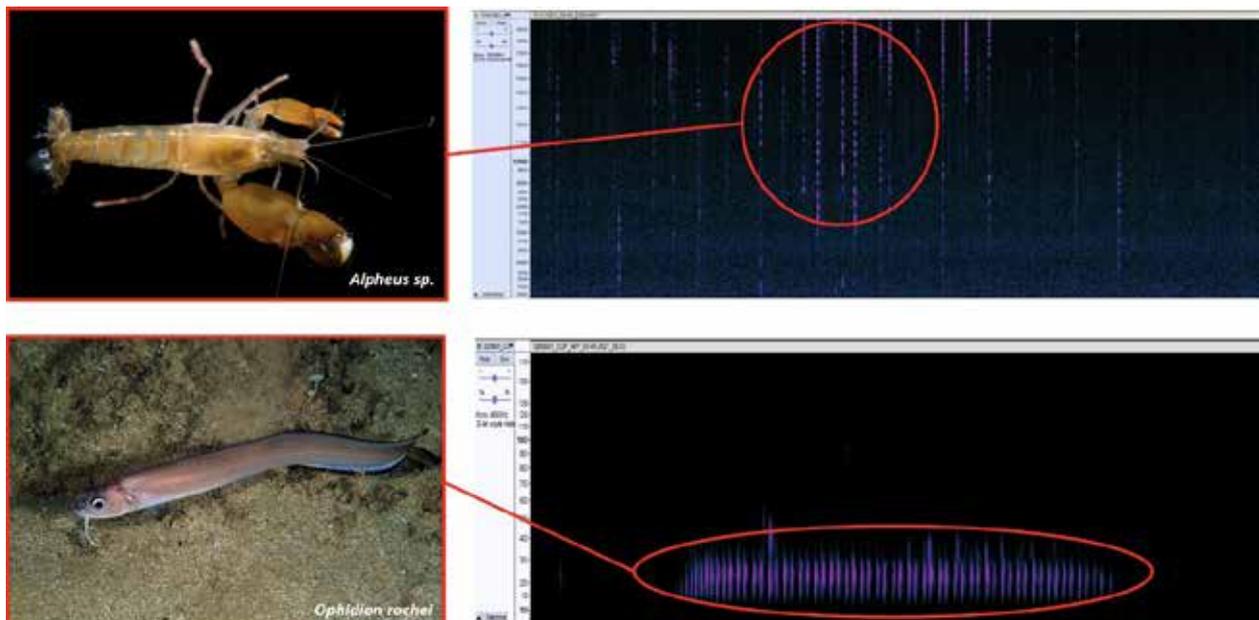


Figura 2. Esempi di spettrogrammi registrati dalla stazione di monitoraggio di Ancona (Centurelli et al., 2023). È possibile identificare i suoni di diversi organismi marini, in particolare, dall'alto verso il basso: Gambero pistolero del genere *Alpheus* (Foto: ©Joel Sartore), pesce *Ophidion rochei* (Foto: ©Stefano Guerrieri).

# uno scatto alla natura

## Lite tra svassi e folaga

testo e foto di Stefania Capelli



Sirmione (Brescia) 8 maggio 2022, fotocamera Canon EOS R6, obiettivo Canon 400 mm f.5,6.

La primavera è il periodo degli accoppiamenti e delle nascite per tutti gli uccelli europei e gli svassi maggiori (*Podiceps cristatus*) non fanno eccezione. Questi magnifici uccelli, spesso confusi con le anatre appartengono alla famiglia dei Podicipedi, termine la cui etimologia indica che l'attaccatura delle zampe si trova nella parte terminale del corpo, come per il motore di un motoscafo per intenderci, e questo serve a velocizzare il nuoto sia in superficie sia sott'acqua. In effetti questa specie, anche quando si sente minacciata, preferisce di gran lunga fuggire sotto la superficie piuttosto che prendere il volo. Gli svassi sono famosi per le loro coreografiche parate nuziali, durante le quali il maschio e la femmina, identici nel piumaggio, eseguono una vera e propria danza. I due animali, posti uno di fronte all'altro, eseguono inchini, torsioni e scuotimenti del capo, imitandosi come se fossero allo specchio. La danza termina con i due animali che spariscono sott'acqua, ricomparendo dopo poco con un gran turbinio di spruzzi, per riuscire a spingersi verso l'alto petto contro petto. Spesso il maschio porta nel becco un ciuffo di alghe come invito a costruire il nido. A queste parate, che iniziano nel mese di marzo, segue l'accoppiamento e la costruzione del nido.

In questa immagine siamo in giugno, ormai il tempo delle danze ha lasciato il posto alla cova delle uova, che viene effettuata da entrambi i membri della coppia. Mentre uno dei due si trova sul nido l'altro vigila attentamente per allontanare gli intrusi. Una folaga (*Fulica atra*, famiglia Rallidae), trovata a passare un po' troppo vicino, è stata prontamente aggredita!

Lo scatto è stato colto sul basso Lago di Garda dove l'acqua delle sponde, calma e bassa, tende a generare un ambiente palustre con ampi canneti. Purtroppo, con scarsa lungimiranza, è stata eliminata la quasi totalità della vegetazione spondale per dare modo ai turisti di accedere agevolmente al lago. Un tempo erano presenti lunghi pontili per poter superare la fascia di canneto. L'eliminazione della vegetazione ha generato una serie di gravi problemi sia alla fauna sia alla salubrità delle acque e, come è facile intuire, in ultima istanza ha generato problemi anche di tipo turistico. L'estirpazione dei canneti ha di fatto eliminato la maggior parte dei siti riproduttivi e di sosta per gli uccelli acquatici e per molti migratori. In primavera il poco canneto rimasto è letteralmente preso d'assalto da molte specie tra le quali anatre, svassi, gallinelle d'acqua e folaghe, creando una concentrazione innaturale dei nidi ed un innalzamento dello stress e dell'aggressività, anche tra specie diverse. Ma i problemi non finiscono qui: le piante acquatiche, si sa, svolgono un importante ruolo di fitodepurazione delle acque, eliminando residui organici e chimici. L'enorme abbassamento delle acque del lago, dovuto alla terribile siccità dello scorso anno, ha messo drammaticamente in evidenza questo problema: dove era stata eliminata la vegetazione per far spazio a lettini e ombrelloni si è creato, in alcuni siti, un vero e proprio strato di melme maleodoranti, praticamente assente nelle sponde in cui la vegetazione è stata rispettata. ●



**Alba sul Lago di Garda dalla Rocca di Manerba (18 aprile 2014)**

---

## Sull'orlo del precipizio: ultima chiamata.

### Parte seconda: la crisi climatica

Angelo Baracca

---

A catastrophe that threatens humanity is represented by the climate crisis which is worsening in an increasingly alarming way, but 27 international summits, called COPs, acronym of "Conference of the Parties", i.e. of the countries that have ratified the United Nations Framework Convention on Climate Change), have not found an agreement to face the climate crisis in a radical and effective way: too many and too strong the interests at stake, which see the more polluting rich countries and poor countries, which are exploited and for more are the minor polluters.

Keywords: *Climate crisis, Global warming, Conference of the Parties*

Mi sembra singolare che per quanto riguarda la crisi climatica tutto il mondo penda dalle labbra dell'IPCC (*International Panel on Climate Change*) e i suoi Rapporti siano considerati "Vangelo": ma l'IPCC non è un organismo indipendente, bensì un Comitato intergovernativo, cioè finanziato dai governi, e ovviamente i più ricchi, quelli che inquinano di più, pagano di più. Appare difficile che l'IPCC possa dire "il tempo è scaduto": rimane sempre un pugno di anni prima che sia troppo tardi. Il mio parere è certo modesto, non sono un climatologo né un fisico dell'atmosfera, ma giudico le conclusioni dell'IPCC parziali. Il faticoso limite di riscaldamento di 1.5°C a me sembra un "numero magico". Accomuna situazioni diversissime: foreste, deserti, ghiacciai o ghiacci polari, zone agricole e zone urbanizzate, ecc. Ciascuna situazione o regione può avere soglie di non ritorno diverse<sup>1</sup>.

L'atmosfera terrestre è un sistema estremamente complesso, altamente non lineare: i termini tecnici che ricorrono sono *caos, frattali*, ecc., qui cerco di riassumere alcuni concetti fondamentali che mi sembrano assolutamente necessari per inquadrare correttamente il problema di offrire prospettive realistiche.

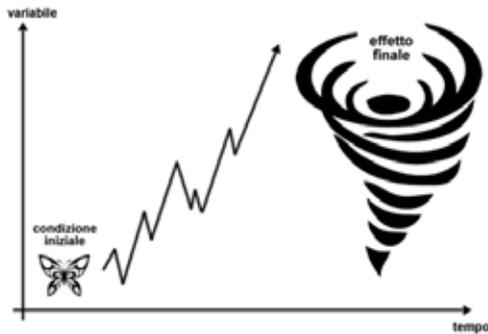
L'evoluzione dello stato di un sistema complesso può variare radicalmente se si modifica, o si perturba, anche impercettibilmente il suo stato. Si usa la



1. Per la discussione che segue riassumo cose che ho scritto più volte in questi anni (per esempio, dal 2018: [www.pressenza.com/it/2018/10/](http://www.pressenza.com/it/2018/10/)

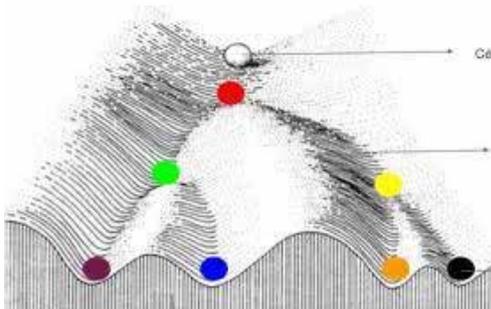
[lallarme-sul-riscaldamento-globale-potrebbe-essere-piu-grave-di-quanto-viene-valutato/](http://www.pressenza.com/it/2018/10/lallarme-sul-riscaldamento-globale-potrebbe-essere-piu-grave-di-quanto-viene-valutato/))

metafora dell'“effetto farfalla”: una farfalla batte le ali, poniamo, in Maremma, e qualche settimana dopo avviene un ciclone nei Caraibi. Può esserci un nesso causale, ma il termine giusto è l'imprevedibilità.



Un sistema complesso, fortemente non lineare, può incontrare nel corso della sua evoluzione delle biforcazioni, imboccando strade evolutive estremamente diverse (qui può agire l'effetto farfalla) o divergenti: una rappresentazione efficace è il “paesaggio epigenetico” che venne introdotto dal genetista Conrad Waddington (1905-1975). E in questa evoluzione imprevedibile possono presentarsi punti di non ritorno (*tipping points*), superati i quali il sistema non ritorna allo stato iniziale (non perturbato) anche se si spengono del tutto le perturbazioni che ne hanno innescato l'evoluzione.

Personalmente reputo (pur non avendo modo di dimostrarlo) che vi siano delle situazioni ambientali nelle quali sono già stati superati punti di non ritorno. Anche perché un'ulteriore caratteristica dei sistemi non lineari è la presenza di meccanismi di retroazione (*feedback*), i quali possono essere sia positivi (forzanti) che negativi. Anche con effetti sinergici.



Nell'atmosfera è facile riconoscere l'azione di feedback forzanti multipli, anche interagenti fra di loro<sup>2</sup>: se anche si spegnesse immediatamente la perturbazione, il sistema non tornerebbe alla condizione imperturbata, ma continuerebbe ad allontanarsene.

Vediamo succintamente qualche esempio:

- I ghiacci possiedono un'albedo maggiore delle superfici che lasciano scoperte sciogliendosi – mare, terra, roccia – le quali quindi assorbono maggiormente la radiazione solare incrementando così il riscaldamento; per di più lo scioglimento del permafrost polare rilascia metano che ha un potere climalterante molto superiore alla CO<sub>2</sub>.
- Un effetto analogo hanno la deforestazione, e gli incendi boschivi: all'emissione di CO<sub>2</sub> e alla distruzione di polmoni verdi si aggiunge la distruzione di biodiversità (è stata avanzata l'ipotesi di una sesta estinzione di massa), nonché l'aumento dei rischi di zoonosi.
- Anche l'inarrestabile cementificazione dei suoli, urbanizzazione, desertificazione, incrementano le caratteristiche di *feedback* e irreversibilità, generando trappole di calore, inversioni termiche, ed aggravando la riduzione della biodiversità.
- L'agricoltura e l'allevamento intensivi, con l'(ab)uso di pesticidi, provocano gravi danni alla salute, e minacciano gli insetti impollinatori; una conseguenza indiretta che raramente si riporta è l'aumento di suicidi di agricoltori danneggiati.
- Sempre più evidenti e allarmanti sono i fenomeni di siccità, carestie, nonché l'aumento delle disuguaglianze.
- Si sta verificando un indebolimento della Corrente del Golfo, e in un futuro il suo flusso potrebbe addirittura invertirsi. La Corrente del Golfo è uno dei principali regolatori del clima<sup>3</sup>, essa mantiene per esempio un clima mite sulle coste atlantiche dell'Europa. Per chi pensa che la crisi climatica comporti solo riscaldamenti,

2. Cai I et al., *Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO<sub>2</sub> emission reduction*, Nature, 21 marzo 2016, [www.nature.com/articles/nclimate2964](http://www.nature.com/articles/nclimate2964)

3. *Ocean currents and climate change*, The Climate Reality Project, 15 novembre 2022, [www.climateRealityproject.org/blog/ocean-currents-and-climate-change](http://www.climateRealityproject.org/blog/ocean-currents-and-climate-change).

l'indebolimento della Corrente del Golfo provocherebbe un raffreddamento sulle coste atlantiche dell'Europa, ad esempio un aumento nel numero e nell'intensità delle tempeste e degli uragani che colpiranno l'Europa<sup>4</sup>. Stefan Rahmstorf, del *Potsdam institute for climate impact research*, afferma: "se continua così potremmo avvicinarci lentamente a un punto di non ritorno, dove questa circolazione si destabilizza del tutto".

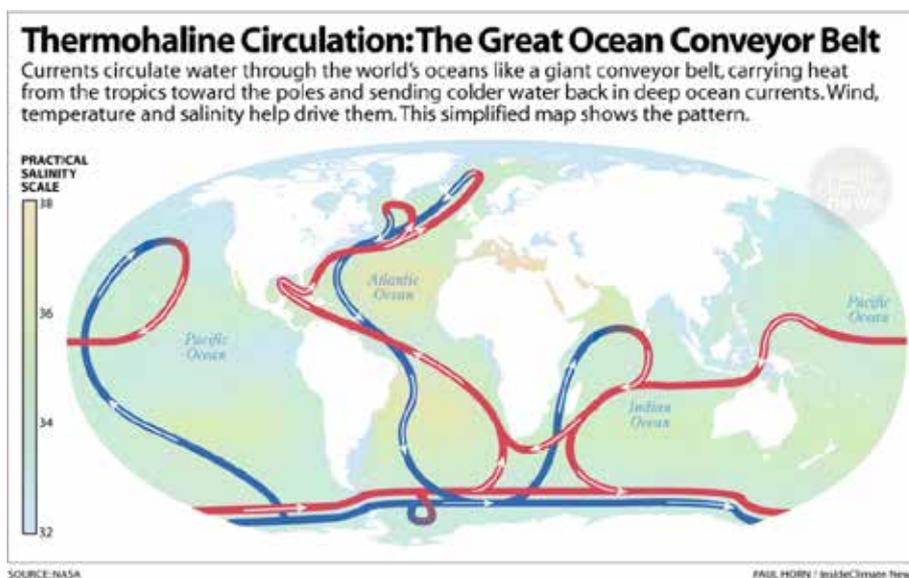
- Vi è poi un aspetto che mi sembra spesso trascurato nelle valutazioni, o per lo meno nell'informazione pubblica, sulla crisi climatica: la prevalenza del calore assorbito dagli oceani. Coprendo più del 70% della superficie terrestre, l'oceano globale ha una capacità termica molto elevata: ha assorbito il 90% del riscaldamento verificatosi negli ultimi decenni a causa dell'aumento dei gas serra e gli ultimi metri dell'oceano immagazzinano tanto calore quanto l'intera atmosfera terrestre<sup>5</sup>. Inoltre, assorbendo anidride carbonica dall'atmosfera, l'oceano si sta acidificando

(quando l'anidride carbonica si dissolve nell'acqua reagisce chimicamente, rendendo l'acqua marina più acida). Lo strato superficiale dell'oceano è ora insolitamente acido rispetto agli ultimi 2 milioni di anni.

- Senza contare poi che gli oceani sono uno dei principali depositi della biodiversità mondiale. Si conoscono circa 250.000 specie, ma molte altre sono ancora da scoprire: almeno due terzi delle specie marine del mondo non sono ancora state identificate. A dispetto di tutti gli avanzamenti scientifici, la nostra conoscenza del Pianeta sul quale viviamo e delle leggi che lo governano è ancora molto parziale.

- L'inesorabile innalzamento del livello dei mari renderà inabitabili zone costiere molto popolate e provocherà masse bibliche di migranti climatici obbligati.

- È particolarmente attuale aggiungere che le guerre provocano non solo vittime e distruzioni, ma anche danni ambientali.



Da: <https://insideclimatenews.org/news/25022021/climate-change-ocean-currents-atlantic/>

4. Berwin B, *Scientists Say Ocean Circulation Is Slowing. Here's Why You Should Care*, Inside Climate News, 7 maggio 2018, <https://insideclimatenews.org/news/07052018/atlantic-ocean-circulation->

[slowing-climate-change-heat-temperature-rainfall-fish-why-you-should-care/](https://insideclimatenews.org/news/25022021/climate-change-heat-temperature-rainfall-fish-why-you-should-care/); *Climate Change is Weakening the Ocean Currents That Shape Weather on Both Sides of the Atlantic*, Inside Cli-

mate News, 25 febbraio 2021, <https://insideclimatenews.org/news/25022021/cli->

5. Cooper R, *The ocean has absorbed more than 90% of the heat gained by the planet*, Cli-

mate Action, 8 gennaio 2019, <https://www.climateaction.org/news/the-ocean-has-absorbed-more-than-90-of-the-heat-gained-by-the-planet>.

- Una notizia del *Washington Post* sulla Florida: l'uragano Ian di fine settembre 2022 ha lasciato montagne di detriti. Per rimuoverli ci vorranno mesi. L'ammasso di detriti potrebbe riempire 22 *Empire State Building*. "Dove troveremo mai spazio per tutto questo?", si chiede un esperto.

C'è da aggiungere ancora che tutti i processi responsabili di alterare lo stato del clima interagiscono fra di loro, con forti effetti sinergici. Un tema che sta ovviamente particolarmente a cuore a Medicina Democratica è l'impatto della crisi climatica sulla salute<sup>6</sup>. Siamo seduti non solo su una polveriera, ma anche su una vera bomba sociale innescata: e non sappiamo quanto sia lunga la miccia. Si potrebbero citare anche esempi di contro-effetti provocati da provvedimenti "verdi", a dimostrazione che in un sistema complesso (ancor più per la presenza della società umana e degli interessi dominanti) i processi possano propagarsi, ad esempio:

- La direttiva UE sui biocarburanti ha avuto l'effetto della deforestazione dell'Indonesia per fare spazio alle coltivazioni di palma da olio.

- I sussidi degli USA ai produttori di bioetanolo sono andati a vantaggio solo dei coltivatori di mais.

È poi il caso di ricordare che i modelli per quanto sofisticati dell'atmosfera sono insufficienti per la compresenza di troppe variabili, interconnesse fra di loro, per i feedback, le sinergie, ecc. Tuttavia, i modelli climatici mostrano che se continuiamo a emettere sempre più anidride carbonica nell'atmosfera, la percentuale di gas serra rimossi dalla vegetazione terrestre e dagli oceani diminuirà. Ma per limitare il cambiamento climatico sono necessarie riduzioni forti, rapide e durature anche di altri gas serra, come il metano e il protossido di azoto.

6. La bibliografia scientifica è molto vasta, in internet si trovano facilmente molti riferimenti, vi è anche una rivista esplicitamente dedicata: *The Journal of Climate Change and Health* (<https://climateandhealthj.org/index.php/ch>). Qui mi limito a

citare questa referenza che contiene anche proposte che possono risultare utili: "Climate crisis and your health", *The Climate Reality Project*, <https://www.climateRealityproject.org/learn/climate-crisis-and-your-health>

Le risorse sono limitate, e distribuite in modo ineguale sul globo e fra le popolazioni: valga l'esempio dei minerali strategici, la cui necessità per la transizione energetica comporterà prevedibilmente un aumento dell'estrazione, e dello sfruttamento neocoloniale (basti pensare all'Africa), e probabilmente di nuove guerre. Ma, intanto, ogni anno verranno spesi nel mondo 570 miliardi di dollari per progetti di esplorazione e sviluppo di giacimenti di gas e petrolio, gli investimenti stanno finanziando nuovi giacimenti di petrolio e gas invece delle rinnovabili.

Può apparire massimalista un'affermazione che mi appare inevitabile: se non verrà messo in discussione il sistema di produzione e di consumi del capitalismo (profitto sfrenato, sfruttamento dell'uomo e della natura), il disastro innescato dalla società umana non potrà essere arrestato. E siamo immersi in una raffica selvaggia di pubblicità e propaganda – con corredo di algoritmi, piattaforme, e via dicendo – in gran parte fallace e scientificamente infondata, che ci spinge al consumismo: per dirne solo di una mistificazione della pubblicità che molti hanno introiettato, i veicoli o qualsiasi altra innovazione per essere "ecologici" dovrebbero crescere sugli alberi! Ma chi ci fa caso? C'è un effetto di assuefazione, ed anche un effetto subliminale della pubblicità. Sarò preso come "vetero", ma credo oggi più che mai all'affermazione di Rosa Luxemburg: *Socialismo o Barbarie*. ●



---

## La conferenza sul cambiamento climatico e la questione energetica

Yuri Galletti

---

There are no big news to announce for COP27 compared to the previous ones. The positive and main note is that of having led to the establishment of the global Loss and Damage fund which provides for compensation for the countries most exposed to climate change. But no agreement was achieved on the issue of phasing out fossil fuels from the economies of UN member countries. If we want to protect the planet and above all humanity, we need to make an energy transition from fossil fuels to renewables. The energy transition implies a cultural revolution that affects all organizational levels of our society and has profound economic and political effects. What we have before us is a decisive decade for the overtaking and total affirmation of renewable sources of energy production over fossil ones.

Keywords: *Conference of the Parties, Climate change, Alternative energy sources*

La ventunesima riunione della Conferenza delle parti (COP21), tenutasi a Parigi nel 2015, aveva definito alcuni punti importanti (Accordo di Parigi) e gli studi portati avanti dalla comunità scientifica internazionale ci avevano definitivamente detto che:

- il cambiamento climatico rappresenta un rischio urgente e potenzialmente irreversibile per la società umana e per il pianeta;
- è assolutamente necessario ridurre fortemente le emissioni di gas serra per limitare, al 2050, l'aumento della temperatura media globale a meno di 2 °C rispetto al livello preindustriale e intensificare gli sforzi per mantenere l'aumento entro 1.5 °C;
- nell'affrontare il problema del cambiamento climatico, i vari Paesi devono considerare, rispettare e promuovere tutti i diritti umani, in particolare il diritto alla salute, alle pari opportunità e all'equità intergenerazionale;
- è urgente che le nazioni sviluppate mettano a disposizione risorse finanziarie e tecnologiche per permettere ai Paesi in via di sviluppo di incominciare a ridurre le loro emissioni prima del 2050.

La conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici del 2022 (COP27) si è tenuta a Sharm el-Sheikh, sotto la presidenza dell'Egitto, lo scorso Novembre (fig. 1).



**Figura 1. Conferenza stampa durante la COP27 in Egitto.**

Purtroppo non ci sono grandi novità da poter enunciare rispetto all'ultima COP (COP26 di Glasgow, 2021) e ai punti sopra elencati che definiscono la grande criticità del cambiamento climatico e gli obiettivi generali di intervento. Tuttavia la nota positiva e principale di COP27 è quella di aver portato all'istituzione del fondo mondiale *Loss and Damage* che prevede il risarcimento dei Paesi più esposti al cambiamento climatico. Si tratta di una politica concreta di giustizia climatica e diritto al futuro che ha dato voce a milioni di persone vulnerabili, che subiscono maggiormente gli effetti di questa criticità globale. Il nuovo fondo mondiale prevede la costituzione di un comitato di transizione che dovrà individuare e stabilire accordi di finanziamento, rivolti ai Paesi in via di sviluppo, che siano in grado di rispondere in maniera efficace alle possibili perdite (*Loss*) e agli eventuali danni (*Damage*) dovuti al cambiamento climatico. Occorre evidenziare come questo fondamentale strumento riconosca una volta per tutte la responsabilità diretta dei paesi economicamente sviluppati nella generazione dell'anomalia climatica.

Non è stato ottenuto un accordo invece sulla questione dell'eliminazione graduale dei combustibili fossili dall'economie dei Paesi membri delle Nazioni Unite. Questo risulta essere un passaggio fondamentale in un'ottica di decarbonizzazione e raggiungimento di un sistema socio-economico

sostenibile in grado di rispondere alle politiche concrete di sostenibilità previste dagli accordi internazionali.

Arriviamo ora alla madre di tutte le questioni. Se vogliamo custodire il pianeta e soprattutto l'umanità occorre operare una transizione energetica dai fossili alle rinnovabili. La transizione energetica implica una rivoluzione culturale che interessa tutti i livelli organizzativi della nostra società e ha profondi effetti economici e politici. Si tratta quindi di una questione energetica. Quello che abbiamo di fronte è un decennio decisivo per il sorpasso e la totale affermazione delle fonti rinnovabili di produzione energetica su quelle fossili.

Proviamo a illustrare alcuni dati recenti.

La potenza eolica installata a fine 2018 ha raggiunto i 591 GW<sup>1</sup>. Un notevole progresso nell'offshore (fig. 2) è lo sviluppo di impianti flottanti, non più condizionati dalla profondità del mare e potenzialmente interessanti anche per la conversione di piattaforme petrolifere. Gli impianti eolici restituiscono in pochi mesi l'energia investita per costruirla. Le turbine eoliche non hanno bisogno di acqua per il raffreddamento, quindi non scaricano inquinamento termico nell'ambiente; la fattoria eolica richiede una manutenzione minima e in fase di dismissione i materiali utilizzati possono essere riciclati quasi integralmente.



Figura 2. Un impianto eolico offshore.

La conversione dell'energia solare in calore a bassa temperatura si può ottenere mediante collettori solari, detti anche pannelli solari termici (fig. 3). Un collettore di circa 3 m<sup>2</sup> è sufficiente, alle nostre latitudini, per fornire da aprile a ottobre acqua calda a uso domestico per una famiglia media. Un collettore solare ha una durata di almeno 30 anni, richiede

1. Renewables 2019 Global Status Report, [www.ren21.net/reports/global-status-report/](http://www.ren21.net/reports/global-status-report/)

soltanto piccole manutenzioni e in due anni produce una quantità di energia pari a quella che è stata necessaria per fabbricarlo. Il solare termico si va affermando come la tecnologia più conveniente dal punto di vista economico per decarbonizzare il settore del riscaldamento.

Il fotovoltaico converte l'energia solare in energia elettrica con un'efficienza del 15-20%. Nel 2018 ha raggiunto 505 GW, con un aumento di circa il 20% rispetto al 2017<sup>2</sup>. L'energia generata dal fotovoltaico nel 2018 è paragonabile a quella ottenibile da 100 centrali nucleari da 1 GW<sup>3</sup>. I pannelli hanno durata di almeno 25-30 anni con una piccola

riduzione di efficienza e a fine vita sono riciclabili al 95%. In 1-3 anni generano l'energia spesa per produrli. Il fotovoltaico è oggi considerato una tecnologia dirompente perché sta cambiando radicalmente il modo di produrre e distribuire elettricità e trascina con sé lo sviluppo di accumulatori e di auto elettriche<sup>4</sup>.

Su base annuale è necessario passare da 34.8 Gt di emissioni di CO<sub>2</sub> all'anno a 9.7 all'anno nel 2050. Secondo IRENA (International Renewable Energy Agency) il 90% della riduzione di CO<sub>2</sub> si può ottenere mediante (1) l'uso più esteso di rinnovabili, (2) l'aumento dell'efficienza energetica e (3) il passaggio nei consumi finali dai fossili all'energia elettrica<sup>5</sup>. Inoltre per diminuire il consumo di energia non si può prescindere dal concetto di sufficienza, cioè da una rinuncia al consumismo. Si può creare un Paese avanzato anche con consu-



Figura 3. Un impianto privato di pannelli solari.

mi energetici limitati (vedere il progetto Società a 2000 Watt, Svizzera, 2002<sup>6</sup>).

Eolico e fotovoltaico sono energie intermittenti e quindi, per ottimizzare le loro prestazioni, è necessario utilizzare sistemi di accumulo, principalmente batterie. Dal 2010 al 2018 il costo delle batterie è diminuito da 1000 dollari per KWh a 165 dollari per KWh, cioè di circa l'85% in otto anni<sup>7</sup>. Le previsioni sono per un'ulteriore diminuzione del 50% entro il 2025 quando saranno prodotti circa 30 milioni di auto elettriche<sup>8</sup>.

Le rinnovabili creano inoltre nuovi posti di lavoro. Più di 10 milioni di persone lavorano nelle rinnovabili, 3.4 milioni delle quali nel solare. In futuro si prevede una perdita di circa 7.4 milioni di posti di lavoro nel settore dei carburanti fossili, ma questi saranno compensati dalla richiesta di 19 milioni di posti di lavoro nei settori delle rinnova-

2. Vedi nota 1

3. Balzani V, *Salvare il pianeta per salvare noi stessi. Energie rinnovabili, economia circolare e sobrietà*, Lu:Ce edizioni, 2020.

4. Balzani V, *Salvare il pianeta per salvare noi stessi. Energie*

*rinnovabili, economia circolare e sobrietà*, Lu:Ce edizioni 2020.

5. Future Earth: Exponential Climate Roadmap. <https://future-earth.org/initiatives/other-initiatives/exponential-climate-roadmap/>

6. Confederazione Svizzera: *Strategia energetica 2050*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/it/home/politica/strategia-energetica-2050.html>

7. Grantham J, *The race of our lives revisited*, GMO white paper, 8 agosto 2018. [www.gmo.com/europe/](http://www.gmo.com/europe/)

[research-library/the-race-of-our-lives-revisited/](https://www.gmo.com/europe/research-library/the-race-of-our-lives-revisited/)

8. Kittner N et al, *Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition*, Nature energy, 2. DOI: 10.1038/nenergy.2017.125.

bili e dell'efficienza energetica e nell'adeguamento della rete elettrica<sup>9</sup>.

Nel nostro Paese lo scenario di riferimento al 2050 prevede un fabbisogno di 670 TWh di elettricità l'anno e un target di composizione rinnovabile dell'offerta del 95% (e un 5% da gas naturale).

Mentre il benessere economico globale si è accresciuto negli ultimi decenni, nello stesso tempo abbiamo assistito alla degradazione dell'ambiente e all'aumento delle disuguaglianze a livello globale e, in particolare, all'interno di ciascun Paese. In questi cinquant'anni la situazione ambientale planetaria è andata sempre più aggravandosi a causa della nostra capacità di trasformare, distruggere e modificare i sistemi naturali e di diventare protagonisti di cambiamenti globali che hanno ormai interessato l'evoluzione del clima terrestre, le profonde modificazioni dei grandi cicli biogeofisici e dei cicli dell'acqua, l'evoluzione e la sopravvivenza della biodiversità dell'intero Pianeta. Inoltre il 10% di popolazione più ricca

del pianeta possiede il 76% della ricchezza e il 52% del reddito, mentre il 50% più povero possiede il 2% della ricchezza e l'8% del reddito<sup>10</sup>. Noi abbiamo ancora tanto futuro ma dobbiamo cambiare il modo di raggiungerlo. Occorre cambiare strada oppure le cose saranno molto complicate. Quale strada seguire?

In conclusione si può affermare che le ultime conferenze sui cambiamenti climatici e i recenti lavori degli esperti di clima, socioeconomia e complessità ci suggeriscono di intraprendere una strada con cinque fondamentali tappe:

1. fine della povertà,
  2. riduzione delle disuguaglianze,
  3. sostegno dell'emancipazione femminile,
  4. rafforzamento e miglioramento del sistema alimentare,
  5. transizione verso l'energia pulita e rinnovabile.
- Queste tappe, tra loro connesse, potrebbero rendere il nostro modo di vivere più sostenibile e il nostro sistema socio-economico più resiliente. ●



9. Vedi nota 5.

10. Chancel L, Piketty T, Saez E, Zucman G et al. *World Inequality Report 2022*, World

Inequality Lab.  
<https://wir2022.wid.world/executive-summary/>

---

## Il cervello che (non) dorme

### Parte seconda: manipolare il sonno e i sogni

Giulio Bernardi

---

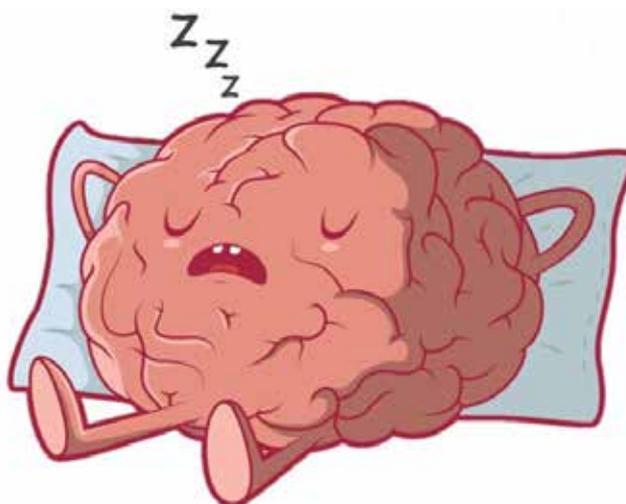
In the first part of the article, the author illustrated how sleep contributes to maintaining psychophysical well-being and body efficiency. He also described how new techniques for studying brain activity, such as high-density electroencephalography, have made it possible to observe partial brain reactivations associated with dreams during sleep. In the second part of the article, the studies concerning the origin and function of dreams are further addressed and discussed. In particular, the article describes the main difficulties researchers face in studying dreams and how new investigation techniques could allow us to overcome them, focusing on the possibilities of "reading" dreams directly from the brain or modifying them at will. The new research field of dream engineering could allow us to understand the nature and function of dreams and may also have important implications and applications in clinical settings.

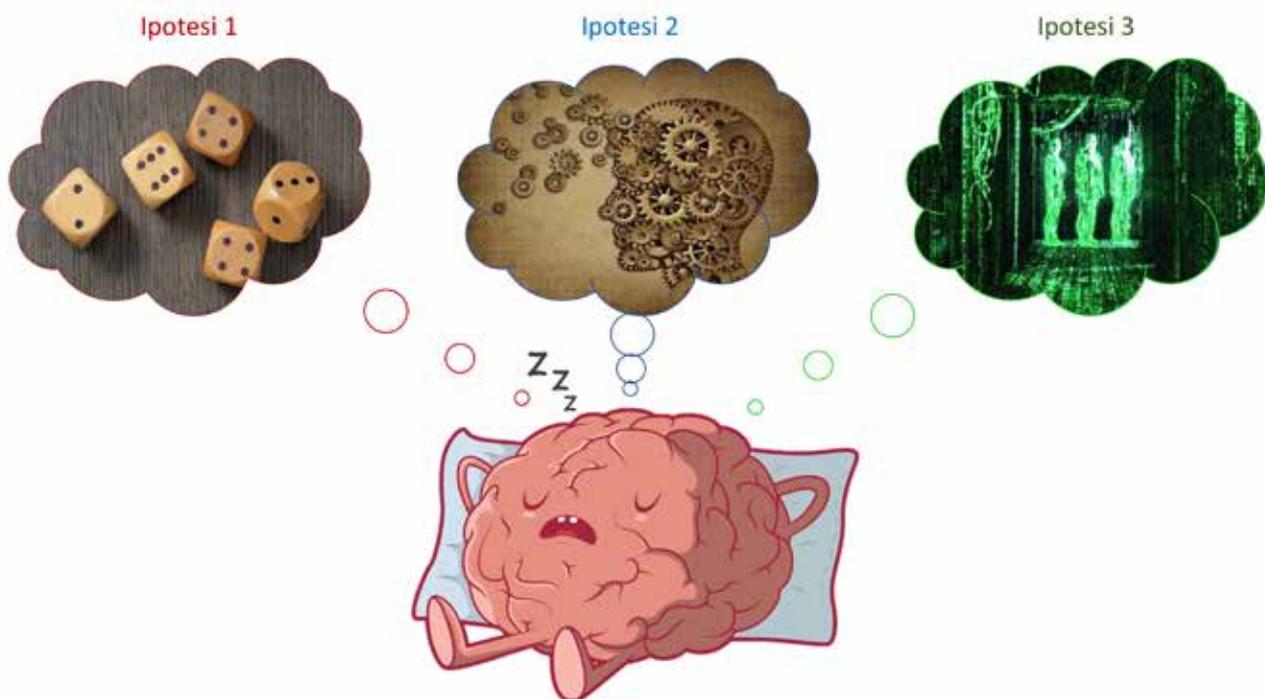
Keywords: *Sleep and dreams study, Dream engineering*

---

Le ricerche degli ultimi anni hanno dimostrato che i sogni non compaiono solamente nel cosiddetto sonno REM (dall'inglese Rapid Eye Movement, ossia "movimenti oculari rapidi"), come si tendeva a pensare fino a pochi anni fa, ma occupano una gran parte delle nostre notti, anche se generalmente non ricordiamo quasi niente di tutte queste esperienze oniriche, salvo talvolta l'ultima che ci accompagna prima del risveglio. Si è scoperto inoltre che i sogni sono delle vere e proprie isole di coscienza spiegabili con un risveglio parziale di alcune regioni del cervello, e che quali regioni del cervello si risvegliano determina probabilmente il contenuto stesso delle nostre esperienze.

Nonostante queste scoperte ed avanzamenti della conoscenza riguardo ai sogni, ci sono ancora molte domande senza risposta. Una di queste, e forse la più significativa, è "Perché sogniamo"? Ci sono, come vedremo, una serie di problemi che rendono particolarmente difficile rispondere a questa domanda, ma per capire meglio la situazione proveremo a partire dalle ipotesi che attualmente convivono sulla funzione dei sogni. Una prima ipotesi ci dice che i sogni sono qualcosa di totalmente casuale. In questa prospettiva, le riattivazioni notturne del cervello si verificano in modo spontaneo e disordinato generando delle esperienze che in qualche modo





**Figura 1. Le tre ipotesi principali sulla funzione dei sogni. Secondo una prima ipotesi i sogni sono il risultato di riattivazioni casuali del cervello e non hanno una funzione specifica. Una seconda ipotesi è che i sogni non abbiano funzione di per sé, ma rappresentino in qualche misura il riflesso di processi che si realizzano durante il sonno e che ricoprono specifiche funzioni (ad esempio nel consolidamento delle memorie). Una terza ipotesi è che i sogni abbiano di per sé una funzione specifica. Potrebbero ad esempio rappresentare dei mondi simulati entro cui l'individuo possa fare esperienza senza esporsi a rischi reali.**

il cervello collega in modo da creare una storia più o meno coerente. Secondo questa ipotesi i sogni non hanno alcuna funzione. Una seconda ipotesi suggerisce similmente che i sogni non abbiano di per sé una funzione, ma postula che le riattivazioni non siano frutto di processi casuali. Sappiamo ad esempio che il sonno ha un ruolo fondamentale nell'elaborare, consolidare e integrare le memorie, e tale processo sembra passare attraverso fasi di riattivazione delle memorie stesse. Secondo questa ipotesi dunque, i sogni rifletterebbero l'elaborazione delle precedenti memorie, e potrebbero dunque essere una sorta di "effetto collaterale" di tale processo. La terza ipotesi propone invece che i sogni ricoprano una specifica funzione, vantaggiosa in termini biologici ed evolutivi (fig.1). Sono state proposte diverse varianti di questa ipotesi, ma le più note suggeriscono che i sogni possano essere una sorta di realtà virtuale all'interno della

quale sia possibile fare esperienze – ad esempio affrontare pericoli o partecipare in attività sociali - senza correre rischi e dunque senza possibili conseguenze negative.

È evidente che si tratta di tre ipotesi molto diverse tra loro e le cose sono ulteriormente complicate dal fatto che non sappiamo se tutti i sogni riflettano uno stesso meccanismo di generazione, e dunque anche se, ad esempio, i sogni del sonno REM e quelli del sonno non REM abbiano la stessa funzione. A questo punto è naturale chiedersi per quale motivo la nostra conoscenza dei sogni sia così limitata e come possano coesistere ipotesi così diverse tra loro. La risposta è che studiare i sogni è tutt'altro che semplice in quanto ci sono una serie di problematiche che chi studia i sogni deve affrontare.

Ci concentreremo qui su due problemi principali. Quando studiamo i sogni chiediamo a dei volontari di venire nel laboratorio del sonno, indossare

una cuffia per la registrazione dell'elettroencefalogramma, e dormire mentre la loro attività cerebrale viene monitorata e registrata. In momenti particolari (o anche scelti in modo casuale) i volontari vengono svegliati e viene chiesto loro se stavano sognando, e in caso affermativo di raccontare il loro sogno. Questo, al momento, è l'unico modo che abbiamo per sapere che cosa passa per la mente di qualcuno che sta dormendo. Ci affidiamo semplicemente a quello che le persone ci raccontano. Le cose però sono più complicate di quanto potrebbe sembrare, perché la nostra memoria funziona diversamente durante la notte. Tendiamo infatti a dimenticare la maggior parte dei nostri sogni o, nel migliore dei casi, alcuni dettagli del loro contenuto. Pertanto il racconto che viene fornito è talvolta impreciso: in alcuni casi i volontari non ricordano di aver sognato, mentre altre volte ricordano di aver sognato ma non riescono a ricordare un certo numero di elementi o esperienze. Non sappiamo esattamente per quale motivo i nostri sogni vengono così facilmente dimenticati, ma si ritiene che questa alterazione della memoria abbia una funzione protettiva. Infatti, se ricordassimo in maniera vivida e precisa i nostri sogni, potrebbe divenire difficile distinguere i sogni dalla realtà... cosa che peraltro in qualche occasione può comunque accadere lasciandoci con un senso (fortunatamente temporaneo) di smarrimento e confusione. Come se non bastasse, in maniera del tutto involontaria, molte persone tendono a inserire nei loro racconti anche interpretazioni dei sogni stessi o a modificare alcuni dettagli per colmare lacune o incertezze nella memoria. Pertanto come si usa dire, i dati che raccogliamo sono "rumorosi", ossia contengono diverse inaccuratezze. Per compensare queste inaccuratezze si può cercare di raccogliere una grande quantità di dati, ma questo è chiaramente dispendioso e difficile, e richiede molto tempo.

Un altro fondamentale problema che dobbiamo affrontare nella ricerca sui sogni è che questi sono molto variabili sia nello stesso sognatore da un episodio all'altro (naturalmente escludendo i sogni ricorrenti che sono una sorta di eccezione), sia da un individuo all'altro. È dunque diffici-

le trovare degli elementi comuni fra i sogni per comprendere se sognare qualcosa di specifico – ad esempio una particolare situazione o "tema" – possa avere un qualche effetto sulla nostra veglia successiva, per esempio in termini di memoria, bilanciamento emotivo o performance in particolari attività.

Per meglio chiarire l'entità dei problemi di cui abbiamo parlato, possiamo far riferimento ad un famoso studio pubblicato da Erin Wamsley e collaboratori nel 2010<sup>1</sup>. Lo studio mirava ad indagare se i sogni avessero una funzione legata all'apprendimento. I volontari dovevano affrontare un labirinto virtuale e capire come raggiungerne l'uscita nel minor tempo possibile, dopodiché avevano la possibilità di fare un pisolino pomeridiano. Dopo il risveglio raccontavano i loro eventuali sogni e affrontavano poi nuovamente il labirinto. Lo studio ha messo in evidenza che chi aveva fatto sogni in qualche misura riconducibili al labirinto, aveva un netto miglioramento nel tempo di percorrenza del labirinto stesso, riuscendo a trovare l'uscita in tempi più rapidi dopo aver dormito. Il miglioramento era addirittura dieci volte maggior rispetto a coloro che non avevano fatto sogni sul labirinto. L'entusiasmo per un tale risultato viene però smorzato quando si vanno a valutare i dettagli. Infatti, a fronte di ben novantanove partecipanti, solo quattro hanno avuto sogni che in qualche misura erano ricollegabili all'esperienza del labirinto. Inoltre, il collegamento era perlopiù labile e indiretto. Infatti, nessuno dei volontari ha avuto un sogno in cui riviveva il labirinto e lo percorreva, usando l'esperienza onirica per imparare a trovare l'uscita. Un partecipante ad esempio ha sognato la musica che accompagnava il gioco del labirinto, mentre un altro ha riportato il seguente sogno: "Stavo pensando al labirinto e avevo delle persone come punto di riferimento, credo, e poi questo mi ha portato a pensare a quando ho fatto un

1. Wamsley J, Tucker M, Payne JD, Benavides JA, Stickgold R, *Dreaming of a Learning Task Is Associated with Enhanced Sleep-Dependent Memory Consolidation*, Current Biology, Volume 20, Issue 9, 2010.

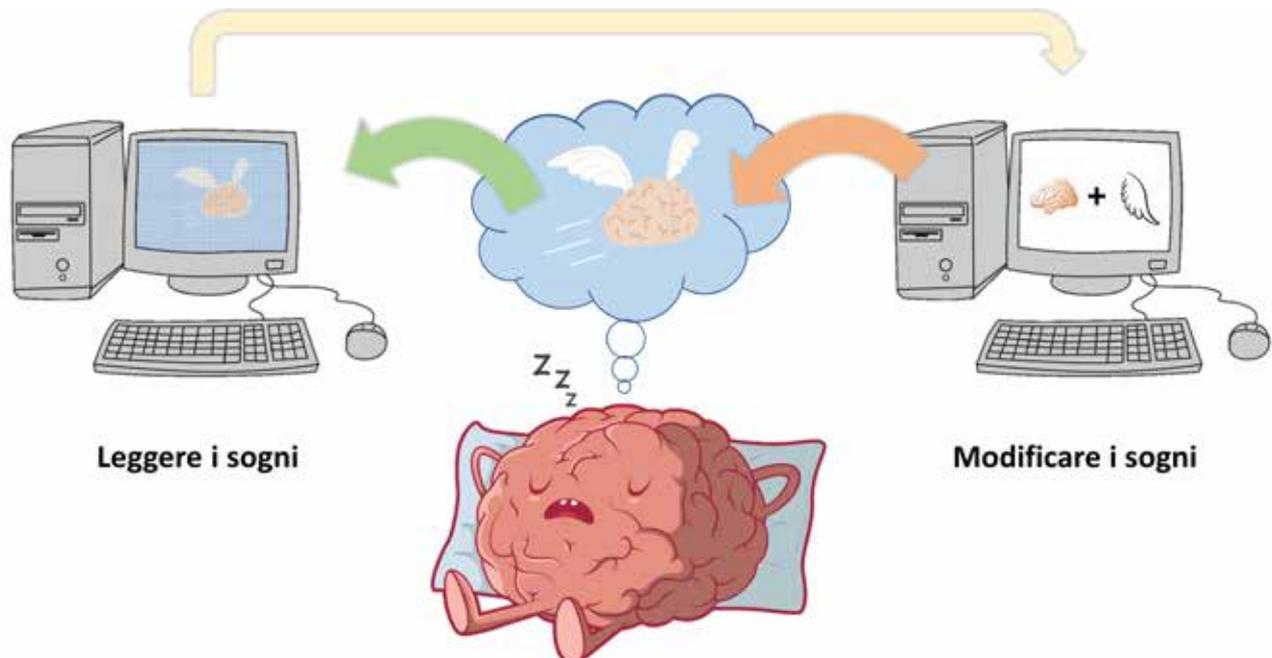
viaggio, alcuni anni fa, e siamo andati a vedere delle grotte di pipistrelli che sono un po' come labirinti". È chiaro dunque che la ricerca ha rilevato un effetto molto interessante, ma abbiamo difficoltà ad interpretarlo perché sono pochissimi i volontari in cui si è osservato l'effetto, e perché i collegamenti tra il sogno e il cambiamento di performance sembrano non rivestire un particolare significato.

Alcune particolari tecniche potrebbero in futuro aiutare la ricerca a superare i problemi di cui abbiamo parlato: la "lettura" dei sogni e la possibilità di modificarli (fig.2).

Per "leggere i sogni" intendiamo qui la possibilità di ricavare informazioni sulla presenza e sul contenuto delle esperienze oniriche attraverso l'analisi dell'attività cerebrale del sognatore, senza dunque doversi più affidare al racconto fornito dopo il risveglio.

Questo potrebbe permetterci di risolvere il problema della memoria e delle inaccurately nei

racconti. Ma quanto lontani siamo dal poterlo fare? In verità ci sono tutti i presupposti per riuscirci. Già nella prima parte dell'articolo abbiamo menzionato il fatto che il contenuto dei nostri sogni è legato direttamente a quali regioni del cervello si attivano<sup>2</sup>. Sappiamo in effetti che nel cervello ci sono diverse aree che elaborano diversi tipi di informazione. Ad esempio ci sono regioni che elaborano i volti, altre che sono più dedicate alla comprensione linguistica, altre al movimento ecc. Queste particolari aree si attivano durante la veglia, quando abbiamo diversi tipi di esperienza, ma anche, allo stesso modo, durante i nostri sogni. Quindi, in base alle diverse regioni che si attivano possiamo farci un'idea di cosa la persona sta sognando. Tale idea è stata messa alla prova in uno studio<sup>3</sup> condotto dieci anni fa da un gruppo giapponese. In questo caso è stata sfruttata come tecnica per indagare l'attività del cervello la risonanza magnetica funzionale. Chi l'ha mai provata sa che l'ambiente di risonanza



**Figura 2. Alcune particolari tecniche potrebbero in futuro aiutare la ricerca a superare le difficoltà attuali relative allo studio e la comprensione delle origini e delle funzioni dei sogni: la "lettura" dei sogni e la possibilità di modificarli.**

2. Siclari F, Baird B, Perogamvros L, Bernardi G, LaRocque JJ, Riedner B, Boly M, Postle BR, Tononi G, *The neural correlates of drea-*

*ming*, Nat Neurosci. 2017 Jun; 20(6):872-878. doi: 10.1038/nn.4545. Epub 2017 Apr 10. PMID: 28394322; PMCID: PMC5462120.

3. Horikawa T, Tamaki M, Miyawaki Y, Kamitani Y, *Neural decoding of visual imagery during sleep*, Science 2013 May 3; 340(6132):639-42.

doi: 10.1126/science.1234330. Epub 2013 Apr 4. PMID: 23558170.

magnetica non è confortevole. Pertanto anche se alcune persone riescono ad addormentarsi con relativa facilità è raro riuscire a raggiungere un sonno particolarmente profondo. Di conseguenza, lo studio si è concentrato sui sogni della fase di addormentamento, quelli del sonno più leggero, ma i risultati sono comunque importanti perché costituiscono una dimostrazione della fattibilità della lettura dei sogni. In pratica i ricercatori hanno prima di tutto creato un dizionario dell'attività cerebrale che facesse da traduzione tra attività cerebrale e diverse esperienze visive (ossia "immagini"). In altre parole hanno chiesto ai volontari di guardare (da svegli) un numero molto grande di immagini, come ad esempio un volto, una chiave, una sedia, un letto, una macchina, vari animali, etc. Per ogni immagine mostrata hanno analizzato quella che era l'attività cerebrale del singolo individuo e in questo modo hanno creato un vero e proprio dizionario: a ogni immagine corrispondeva una particolare attività in diverse regioni del cervello (ossia una "mappa di attività"). Questo dizionario è stato poi utilizzato successivamente per capire se l'attività del cervello registrata durante il sonno prima di un risveglio potesse indicare la presenza di una qualche immagine, ossia di un sogno (visivo).

Quello che i ricercatori hanno visto è che avvicinandosi al momento del risveglio il dizionario riusciva a identificare alcuni elementi che il racconto fornito dai volontari al risveglio confermava essere parte di un sogno<sup>4</sup>. In un caso ad esempio il dizionario ha identificato due immagini che sembravano essere presenti nell'attività cerebrale del volontario, ossia quelle di maschio/uomo e femmina/donna. Il sogno raccontato dal volontario era poi questo: "Beh, c'erano delle persone, circa tre persone, in una specie di salone. C'erano, un maschio, una femmina e forse un bambino. Ah, erano forse un

bambino, una bambina e una madre. Penso non ci fosse alcun colore". Come possiamo vedere da questo esempio, la ricostruzione perde molti dettagli, ma riusciamo comunque a farci un'idea del contenuto del sogno. In verità negli anni sono state sviluppate tecniche ancora più avanzate di lettura dell'attività cerebrale che riescono creare una vera e propria "fotografia" di quello che la persona sta vedendo.

Si tratta di ricostruzioni ancora relativamente nebulose e prive di dettagli precisi, ma la loro qualità sta migliorando al migliorare delle tecniche disponibili per l'analisi dei dati cerebrali. Queste tecniche sono state usate per leggere ciò che una persona sta vedendo o immaginando durante la veglia, ma certamente sarà presto possibile fare lo stesso anche con i sogni. Possiamo dunque dire di essere sulla buona strada per poter vedere un domani i nostri sogni proiettati su uno schermo come film.

L'altro aspetto di cui vogliamo parlare è quello che riguarda la possibilità di modificare i sogni, di renderli in qualche modo uniformi almeno per alcune caratteristiche. Riuscire in questo ci consentirebbe di indurre sogni con certi contenuti in modo sistematico e quindi di studiare l'effetto di tali modifiche in modo rigoroso da un punto di vista scientifico. Anche in questo caso possiamo dire di essere sulla buona strada, ma qui la ricerca sta testando diverse possibili soluzioni tra un'ampia gamma di opzioni. Questo perché non c'è un solo modo di agire sui sogni per provare a modificarli ma ce ne sono molti e dobbiamo comprendere quale potrebbe essere il migliore. In primo luogo, quando si parla di modificare i sogni non si può non menzionare il cosiddetto "sogno lucido". I sogni lucidi sono tipicamente sogni del sonno REM in cui il sognatore prende coscienza del fatto di stare sognando. Esistono vari gradi di lucidità, in cui il sognatore può anche arrivare ad avere un certo controllo sul contenuto del so-

4. [https://www.youtube.com/watch?v=inaH\\_i\\_TjV4&ab\\_channel=KamitaniLab](https://www.youtube.com/watch?v=inaH_i_TjV4&ab_channel=KamitaniLab)

gno. In rari casi il controllo può essere totale, al punto che il sognatore può dirigere ogni dettaglio del sogno al pari di un direttore cinematografico armato dei più avanzati effetti speciali. I sogni lucidi possono dunque consentire di modificare i sogni “dall’interno”. Il sogno lucido è un modello molto interessante di studio, ed è stato peraltro il primo a consentirci di dimostrare direttamente la corrispondenza tra l’attività cerebrale legata a ciò che facciamo in veglia e quella che troviamo quando sogniamo lo stesso tipo di attività o esperienza<sup>5</sup>. Questo è stato possibile perché il sognatore lucido è in grado di comunicare con l’esterno usando un particolare “trucco”. Quando siamo in sonno REM quasi tutti i nostri muscoli sono rilassati, non c’è tono muscolare, ma rimangono attivi i nostri muscoli respiratori e i muscoli che controllano i movimenti oculari. Nel momento in cui il sognatore entra nel sogno lucido si ripristina il controllo volontario sui muscoli respiratori e oculari, ed è dunque possibile comunicare con l’esterno attraverso dei codici predefiniti. Si può ad esempio comunicare l’ingresso in un sogno lucido muovendo gli occhi due volte a sinistra e poi a destra. Nello studio menzionato, una volta entrato in sogno lucido, il sognatore eseguiva dei semplici movimenti con la mano (la apriva e la chiudeva) all’interno del sogno (ossia senza alcun movimento corrispondente della mano “reale”). Si è così potuto vedere che questa procedura causava una attivazione delle regioni cerebrali che controllano il movimento della mano, ossia le medesime che si attivano quando da svegli muoviamo la mano nello stesso modo. Pur se molto interessante, il modello del sogno lucido ha anche alcuni problemi. Un primo problema è che il sogno lucido è in effetti un sogno atipico. La maggior parte dei nostri sogni non sono lucidi, e molti di noi hanno forse uno o due sogni lucidi (di cui si ricordino) nell’arco della vita. Inoltre le regioni cerebrali che si attivano durante

il sogno lucido sono in parte diverse da quelle che troviamo attive durante i sogni non lucidi.

Sembra ad esempio che la corteccia frontale, quella più anteriore legata al ragionamento, sia generalmente spenta durante il sonno REM, mentre si attivi nel sogno lucido. È dunque naturale chiedersi se il sogno lucido sia un modello pienamente valido per lo studio dei sogni in generale. Un’altra importante limitazione relativa ai sogni lucidi riguarda la difficoltà nel raggiungere e mantenere tale condizione.

Anche se ci sono persone che riescono a raggiungere lo stato di sogno lucido con relativa facilità, la maggior parte di noi incontra notevoli difficoltà sia nel raggiungere sia nel mantenere questo stato senza svegliarsi. Anche in caso poi si riesca ad entrare in un sogno lucido non è detto che si riesca ad ottenere il controllo sul suo contenuto. Per tale motivo, molti sforzi di ricerca sono stati diretti verso lo studio di metodi in grado di facilitare l’ingresso in sogno lucido. Tra i tanti approcci provati vi è stato ad esempio quello della stimolazione elettrica transcranica, una tecnica che consente di mandare uno stimolo elettrico direttamente ad una parte del cervello in modo da inibirla o attivarla (a seconda della modalità di stimolazione). In effetti uno studio ha provato a usare questo metodo per attivare la corteccia frontale durante il sonno e quindi facilitare la comparsa di sogni lucidi<sup>6</sup>. Il successo, se così si può chiamare, è però stato solo parziale. Al risveglio dal sogno i volontari dovevano infatti rispondere ad alcune domande sul loro livello di lucidità e controllo sul sogno usando delle scale di valori da 0 a 5, e si è così osservato che la stimolazione produceva un passaggio da un punteggio medio di circa 0 ad uno di circa 0.5, ossia ancora estremamente basso. Questo risultato, che possiamo comunque considerare incoraggiante, ci dice che la nostra comprensione di come emergono i sogni lucidi è ancora lacunosa e non è sufficiente attivare della

5. Dresler M, Koch SP, Wehrle R, Spoormaker VI, Holsober F, Steiger A, Sämann PG, Obrig H, Czeisler M, *Dreamed movement elicits*

*activation in the sensorimotor cortex*, *Curr Biol*. 2011 Nov 8;21(21):1833-7. doi: 10.1016/j.cub.2011.09.029. Epub 2011 Oct 27. PMID:

6. Voss U, Holzmann R, Hobson A, Paulus W, Koppehelle-Gossel J, Klimk A, Nitsche MA, *Induction of self awareness in dreams through frontal low*

*current stimulation of gamma activity*, *Nature neuroscience*, 17(6), 810-812, 2014.

corteccia frontale. La tecnica della stimolazione elettrica transcranica non è stata utilizzata solo per indurre sogni lucidi ma anche per provare a modificare direttamente il contenuto dei sogni. In un diverso studio<sup>7</sup> i ricercatori hanno usato la stimolazione per inibire l'attività dell'area del cervello (la corteccia motoria) che controlla direttamente il movimento della parte dominante del corpo. I ricercatori hanno così osservato che i volontari riportavano nei sogni raccontati al risveglio dopo stimolazione una ridotta quantità di movimenti corporei, ossia i sogni erano più statici e meno dinamici. La stimolazione elettrica è dunque riuscita a ridurre il grado di movimento all'interno dei sogni.

Ovviamente, l'idea di ricevere stimolazioni elettriche dirette al cervello non è ben accettata da tutti, e pertanto si stanno testando anche tecniche alternative meno invasive.

Sappiamo ad esempio, per esperienza capita-  
ta almeno una volta a quasi tutti noi, che alcuni

stimoli presenti nell'ambiente circostante mentre dormiamo – come il suono di una sveglia – possono essere incorporati nei nostri sogni. In effetti, anche se il nostro cervello è relativamente “isolato” dall'ambiente esterno, non lo è completamente, e alcuni stimoli sensoriali possono raggiungere il nostro sogno e influenzarlo. In uno studio, ad esempio, si è visto che il rumore del traffico presentato durante il sonno riusciva ad indurre sogni con temi legati al traffico nel 78% dei volontari<sup>8</sup>. (fig. 3) Un numero decisamente elevato. In realtà non sappiamo ancora bene perché alcuni stimoli riescano a influenzare i nostri sogni mentre altri sembrano venir “filtrati” e non hanno effetti diretti sulle nostre esperienze.

In effetti alcuni stimoli sembrano riuscire a passare meglio le difese del cervello addormentato, mentre altri hanno più difficoltà a passare. In questo senso, particolare interesse è stato rivolto agli stimoli odorosi, in quanto questi sono elaborati in modo diverso rispetto agli altri sensi. Infatti la



**Figura 3. Sappiamo che alcuni stimoli sensoriali – come il suono di una sveglia o il rumore del traffico - possono essere incorporati nei nostri sogni, influenzandone il contenuto e lo svolgimento.**

7. Noreika V, Windt JM, Kern M, Valli K, Salonen T, Parkkola R, Lenggenhager B. *Modulating dream experience: Noninvasive brain stimu-*

*lation over the sensorimotor cortex reduces dream movement*, Scientific reports, 10(1), 1-19, 2020.

8. Rahimi S, Naghibi SM, Mokhber N, Schredl M, Assadpour H, Ramezani Farkhani A, Sadjadi SA. *Sophisticated evaluation of possible effect of*

*distinct auditory stimulation during REM sleep on dream content*, International Journal of Dream Research, 8(2), 146-151, 2015.

maggior parte dei nostri sensi passa attraverso una stazione di ritrasmissione – il talamo – che si ritiene possa contribuire a filtrare parte delle stimolazioni ricevute durante il sonno. L'olfatto è però diverso perché le informazioni legate agli odori raggiungono direttamente le parti del cervello che elaborano gli stimoli olfattivi e da qui vengono ritrasmesse ai centri che controllano le emozioni e la memoria. In questo senso, gli stimoli odorosi potrebbero offrirci un accesso privilegiato al sonno e ai sogni. Le potenzialità di questa tecnica sono illustrate da uno studio<sup>9</sup> in cui durante il sonno venivano presentati ai volontari un odore positivo (profumo di rosa) o uno a valenza negativa (odore di uova marce). Si è così osservato che l'odore di uova marce si associava ad un aumento delle emozioni negative nei sogni, mentre il profumo di rosa tendeva ad aumentare gli elementi a connotazione positiva. Dati questi incoraggianti risultati e la relativa semplicità di impiego, vi è attualmente un grande interesse verso l'uso di tecniche basate su stimoli sensoriali per modificare e dirigere i sogni.

Un'ultima tecnica che vale la pena descrivere è quella cosiddetta di riattivazione mirata delle memorie. Anche in questo caso viene utilizzato uno stimolo sensoriale, ma si usano stimoli che sono stati precedentemente associati a particolari memorie, in modo che la presentazione dello stimolo possa condurre anche ad una riattivazione delle memorie stesse e siano poi queste a influenzare il sogno. Si tratta di una tecnica descritta per la prima volta alla fine dell'800 dal Marchese di Saint-Denys<sup>10</sup>, il quale ha condotto su sé stesso un semplice esperimento. Durante un viaggio nelle campagne francesi ha portato con sé una boccetta di profumo che di tanto in tanto annusava

allo scopo di associare il profumo al viaggio e agli ambienti che stava visitando. Una volta tornato a casa ha chiesto a un servitore di mettere alcune gocce dello stesso profumo sul cuscino, senza ovviamente informarlo di quando lo avrebbe fatto. Secondo quanto riportato dall'autore quando veniva messo il profumo sul cuscino comparivano più spesso sogni con temi di campagna e paesaggi simili a quelli visti durante il viaggio. Dunque l'odore sembrava riuscire a riattivare le memorie del viaggio influenzando lo svolgimento del sogno. Molto più recentemente i ricercatori hanno provato a replicare lo stesso studio in laboratorio e dunque in maniera più controllata e sistematica<sup>11</sup> (fig. 4). In questo caso un odore è stato associato a fotografie che mostravano ambienti naturali, e la presentazione dell'odore durante il sonno si associava ad una maggiore probabilità che i volontari riportassero sogni con ambienti e contenuti simili a quelli delle immagini.

A conclusione di questo nostro excursus sulle tecniche per modificare i sogni vale la pena citare un articolo uscito alla fine del 2020 e intitolato "Verso un'ingegneria dei sogni"<sup>12</sup>. In esso, gli autori descrivono gli avanzamenti e le innovazioni di quello che è diventato un vero e proprio nuovo campo di ricerca, quello appunto dell'ingegneria dei sogni. Come abbiamo menzionato, poter modificare i sogni potrebbe aiutarci a studiarli in modo più approfondito e a comprenderne finalmente la natura e le funzioni. Ma potrebbe avere anche implicazioni cliniche di grande importanza. L'esempio più ovvio è quello di condizioni legate ad alterazioni dei sogni, come nel caso degli incubi ricorrenti, ma in verità potrebbero aversi applicazioni di rilievo anche in molte altre patologie del sonno in cui l'attività del cervello va

9. Schredl M, Atanasova D, Hörmann K, Maurer JT, Hummel T, & Stuck BA, *Information processing during sleep: the effect of olfactory stimuli on dream content and dream emotions*, Journal of sleep research, 18(3), 285-290, 2009.

10. De Saint-Denys H, *Les Rêves et les moyens de les diriger; Observations pratiques*, Paris, Librairie d'Amyot, Éditeur, (Originally published anonymous), 1867.

11. Schredl M, Hoffmann L, Sommer JU & Stuck BA, *Olfactory stimulation during sleep can reactivate odor-associated images*, Chemosensory Perception, 7(3), 140-146, 2014.

12. Carr M, Horowitz AH, Amores J, Maes P, *Towards engineering dreams*, Consciousness and Cognition, 85, 103006, 2020.

incontro ad una disregolazione e alcune aree rimangono più attive (ossia “svegli”) del dovuto, o viceversa hanno un sonno abnormemente profondo. In effetti ingegnerizzare

i sogni significa in realtà anche capire come modificare il sonno e quindi, potenzialmente, migliorarlo. ●



**Figura 4.** La tecnica di riattivazione mirata delle memorie (dall’inglese “targeted memory reactivation”, o TMR) prevede che uno stimolo sensoriale sia associato ad una particolare memoria durante la veglia, e sia poi ripresentato ai volontari durante il sonno per richiamare la memoria corrispondente.

Giacomo Destro  
*Ragione di Stato ragione di Scienza*  
 Codice edizioni 2023



Una leggenda narra che la prima ambasceria dell’impero romano in Cina portasse in dono all’imperatore celeste carapaci di tartarughe, pietre preziose, stoffe e... un trattato di astronomia. La conoscenza scientifica è stata sempre utilizzata dalle società anche come strumento per relazionarsi con le altre comunità, e dalla seconda metà dell’Ottocento scienza e politica internazionale si sono sempre più legate in un rapporto tanto complesso quanto simbiotico. In *Ragione di Stato, ragione di scienza* Giacomo Destro ripercorre i grandi temi globali in cui la scienza si intreccia con le relazioni tra le nazioni, come le questioni ambientali ed energetiche e i confini etici della ricerca. E lo fa raccontando storie di scienziati che spiano e vengono spiati, di diplomazia spaziale e neocolonialismo, di crimini efferati e cooperazioni internazionali. Un viaggio avventuroso e suggestivo che ci porterà nei luoghi più significativi della diplomazia scientifica, per capire come questo tema sia molto più vicino alle nostre vite di tutti i giorni rispetto a quanto si possa immaginare.

---

## **Frasassi: la piccola grande storia delle grotte.**

**Pedagogia, terra,  
vita, umanità**

Alessandro  
Montanari,  
Gaia Pignocchi

---

The Frasassi Caves represent a particular place not only for the surprising beauty of their natural characteristics, but also for the ability to represent the intersection point between different historical paths, where the reconstructions of cosmology, geology, geochemistry, biology, paleontology, archeology and art history converge. The study of caves, articulated interdisciplinarily, represents an exemplary field of application of Big History, the discipline that tends to reconstruct a unified vision of phenomena and events thanks to the combination of all fields of knowledge.

Keywords: *Frasassi Caves, Big history*

---

Interdisciplinarietà e visione globale sono concetti imprescindibili per comprendere le intricate dinamiche della storia dell'Universo, della Terra, della Vita e dell'Uomo. Questi percorsi storici, diversi eppure sempre connessi, si intersecano ovunque e continuamente, ma esistono luoghi in cui i nessi che li legano emergono in modo stupefacente e paradigmatico. Uno di questi luoghi è la Gola di Frasassi, nelle Marche, le cui grotte sono un impareggiabile laboratorio di ricerche, studi, esperimenti che abbracciano moltissime tematiche e discipline, dalla cosmologia alla storia umana. E tante altre cose ancora, perché Frasassi è un luogo straordinario, dove è possibile sfogliare, come in un libro, la lunga storia della Terra e dell'Uomo. Da queste opportunità, nello spirito del progetto Big History, è nato un e-book scientifico/didattico/divulgativo intitolato "Frasassi. La Piccola Grande Storia delle Grotte", scritto da Alessandro Montanari (geologo) e da Gaia Pignocchi (archeologa), con l'introduzione del pedagogista Adalberto Codetta Raiteri (OPPI- Organizzazione per la Preparazione Professionale degli Insegnanti ed EBHN-European Big History Network) (fig. 1). Lo scopo di questo lavoro è stato condensare e presentare a un pubblico ampio anni di ricerche geologiche, biologiche e archeologiche altrimenti accessibili solo attraverso la consultazione di riviste specialistiche. L'e-book è scaricabile liberamente e gratuitamente dal sito della Federazione Speleologica Marchigiana <http://www.speleomarche.it/> (box giallo a destra in basso GROTTA DI FRASASSI e-book).

Lo studio interdisciplinare delle Grotte di Frasassi consente di spaziare da 230 milioni di anni fa fino ai giorni nostri, percorrendo una lunga scala del tempo che va da antichi organismi costruttori (coralli, spugne, alghe, bivalvi) capaci di creare rocce di calcare puro e massiccio, per poi passare



ai microorganismi e organismi che vivono in grotta (protozoi, copepodi, gasteropodi, vermi, ostracodi), fino ad arrivare a noi, all'Uomo, un mammifero la cui storia si può fare iniziare 66 milioni di anni fa, dopo l'impatto catastrofico dell'asteroide che allora causò la scomparsa dei dinosauri e di altre specie, portando i mammiferi a dominare il pianeta. Aquella catastrofe sopravvisse un piccolo mammifero, il *Purgatorius*, simile a uno scoiattolo, e da questa specie, in soli 10 milioni di anni, si è evoluto l'ordine dei Primati, proscimmie, scimmie, scimmie antropomorfe, e infine le australopitecine e il genere *Homo*, con le sue varie specie estinte (*Homo habilis*, *erectus*, *ergaster*, *georgicus*, *antecessor*, *heidelbergensis*, *nenderthalensis*), attraverso un'evoluzione complessa, discontinua, intermittente, ramificata, uno dei cui rami è rappresentato dall'unica specie sopravvissuta, *Homo sapiens*.

La storia geologica delle montagne e delle grotte di Frasassi si inserisce nella formazione dell'Appennino Umbro-Marchigiano, iniziata 230 milioni di anni fa. Questo episodio a sua volta è parte della grande storia della Terra avviata 4,6 miliardi di anni fa, un frammento dell'evoluzione cosmica. Quella dell'Appennino è pertanto una storia geologicamente recente, svolta per lungo tempo in fondo all'antico oceano della Tetide (fig. 2). Come per tutte le altre catene montuose del sistema Alpino-Himalayano, le rocce che costituiscono l'Appennino sono prevalentemente di origine sedimentaria. La Anidriti del Burano sono la formazione più antica della Successione Umbro-Marchigiana. Si tratta di una sequenza di calcari, a volte dolomitici e a volte bituminosi, intercalati ad anidriti. Tra il Triassico e il Giurassico, organismi costruttori come coralli, spugne, bivalvi e alghe calcaree crearono con i loro gusci e scheletri di calcite una spessa coltre carbonatica in un contesto ritenuto simile alla piattaforma odierna dello Yucatan o al Gran Banco delle Bahamas. La formazione umbro-marchigiana che esprime questa prima fase nel Giurassico Inferiore è il Calcare Massiccio.

Il lento impilamento dei sedimenti sul fondo di bacini marini proseguì poi per milioni di anni in

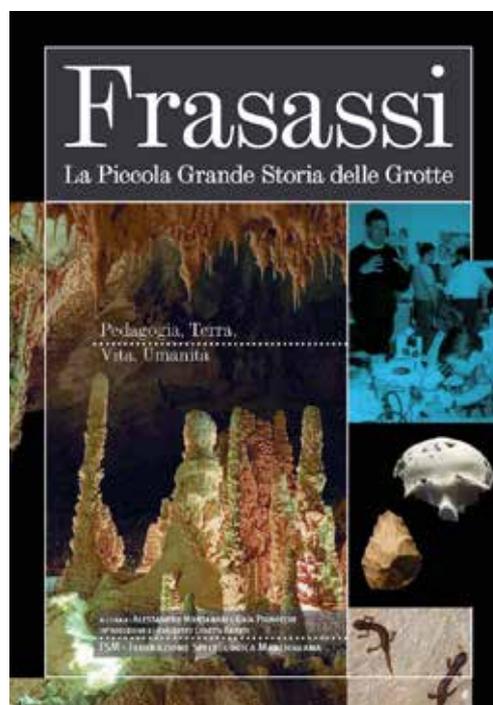


Figura 1. La copertina del volume

strati più o meno orizzontali, in seguito divenuti roccia dopo essere stati strizzati come fossero una spugna e privati dell'acqua e infine cementati da un processo di litificazione che i geologi chiamano *diagenesi*.

Successivamente, le nostre rocce si sono deformate, piegate e accavallate sotto l'azione di spinte tettoniche fino a emergere dal mare e a formare imponenti catene montuose. Una volta esposte agli agenti atmosferici, le rocce sono state soggette a erosione da parte dei fiumi, delle onde del mare e dei ghiacciai e hanno assunto quelle forme di valli e rilievi che vediamo oggi. Poi in tempi recenti, circa un milione di anni fa, processi chimici hanno generato le grandi cavità naturali e le meravigliose concrezioni calcitiche che ancora ci stupiscono e sono in continua formazione (fig. 3). Grazie al carsismo, il fenomeno naturale che ha reso famosa nel mondo la Gola di Frasassi e le sue stupefacenti grotte, è avvenuta la dissoluzione del calcare massiccio ad opera delle acque piovane e delle acque sulfuree (fig. 4). Si tratta di complessi quanto straordinari processi chimici che hanno comportato e comportano tuttora la formazione di acido carbonico e

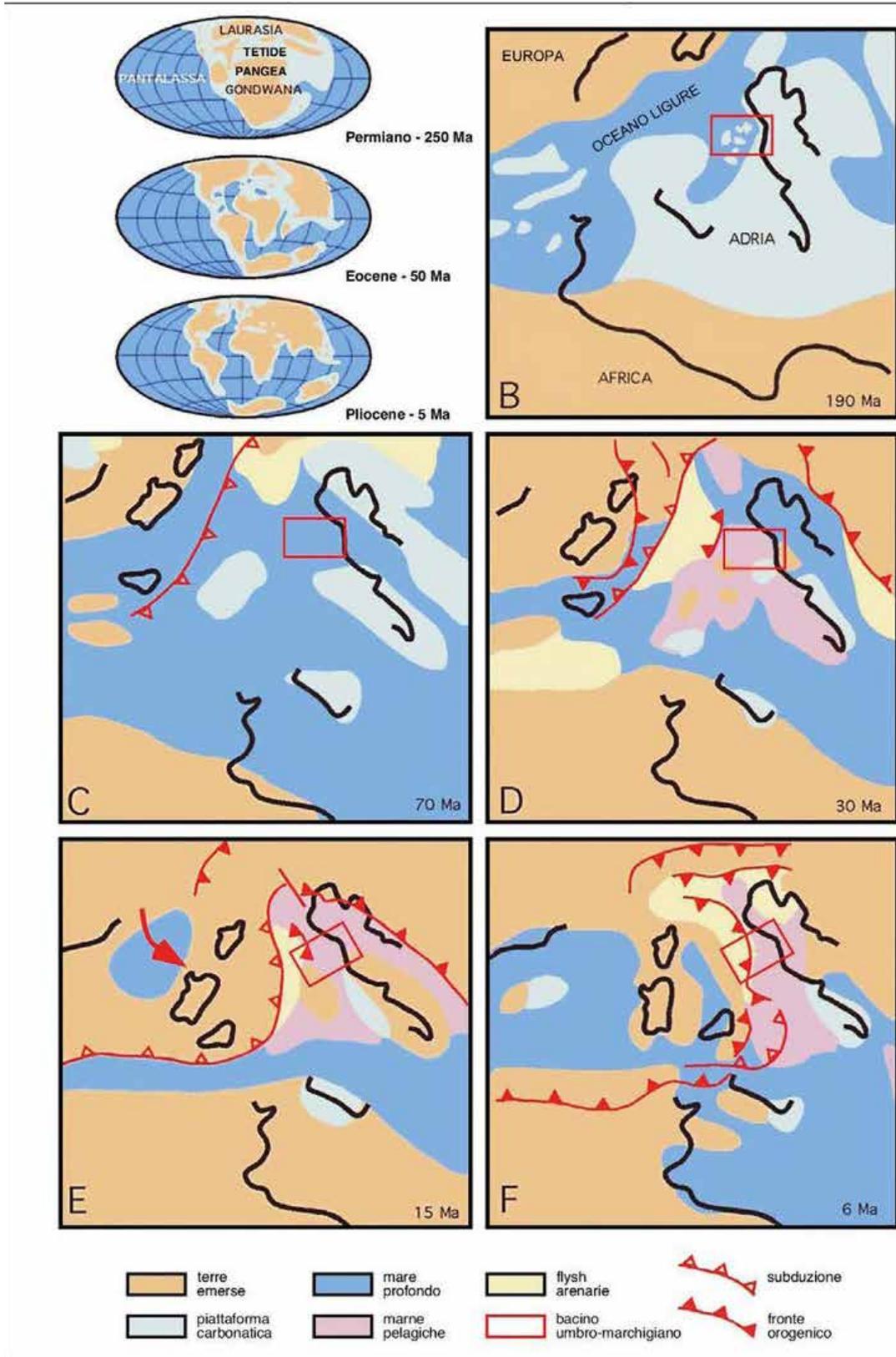


Figura 2. Evoluzione paleogeografica del Mediterraneo occidentale tra il Triassico e il Miocene superiore.

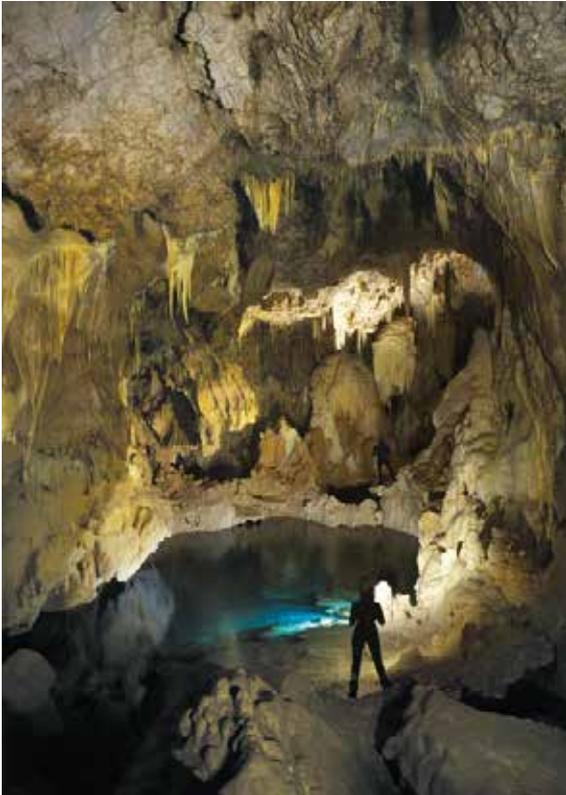


Figura 3. Grotta del Fiume (Frasassi), ramo del New Mexico, il Lago delle Anguille.

acido solforico che attaccano le rocce calcaree, apparentemente così dure e compatte, innescando fenomeni di dissoluzione (creazione di cavità) e di costruzione (creazione delle formazioni stalattitiche e stalagmitiche).

Gli ambienti ipogei sono favorevoli allo sviluppo di molte forme di vita, alcune molto simili alle cellule primitive che hanno dato origine alla vita sulla Terra (procarioti), altri sono microorganismi e organismi più complessi (protozoi, copepodi, gasteropodi, vermi, ostracodi, anfibi) che popolano i laghi e gli ambienti umidi del complesso Grotta del Fiume - Grotta Grande del Vento.

I primi organismi viventi, i procarioti (dal latino *pro* = avanti, prima, e dal greco antico *karyon* = noce, nucleo) che includono i batteri e gli archaea, sono organismi unicellulari spesso chemioautotrofi, capaci cioè di nutrirsi autonomamente utilizzando risorse chimiche fornite dall'ambiente, l'anidride carbonica come risorsa di carbonio e l'ossidazione di sostanze inorganiche come risorsa energetica (fig. 5).

2,1 miliardi di anni fa successe qualcosa di molto importante alla cellula dei procarioti che con-

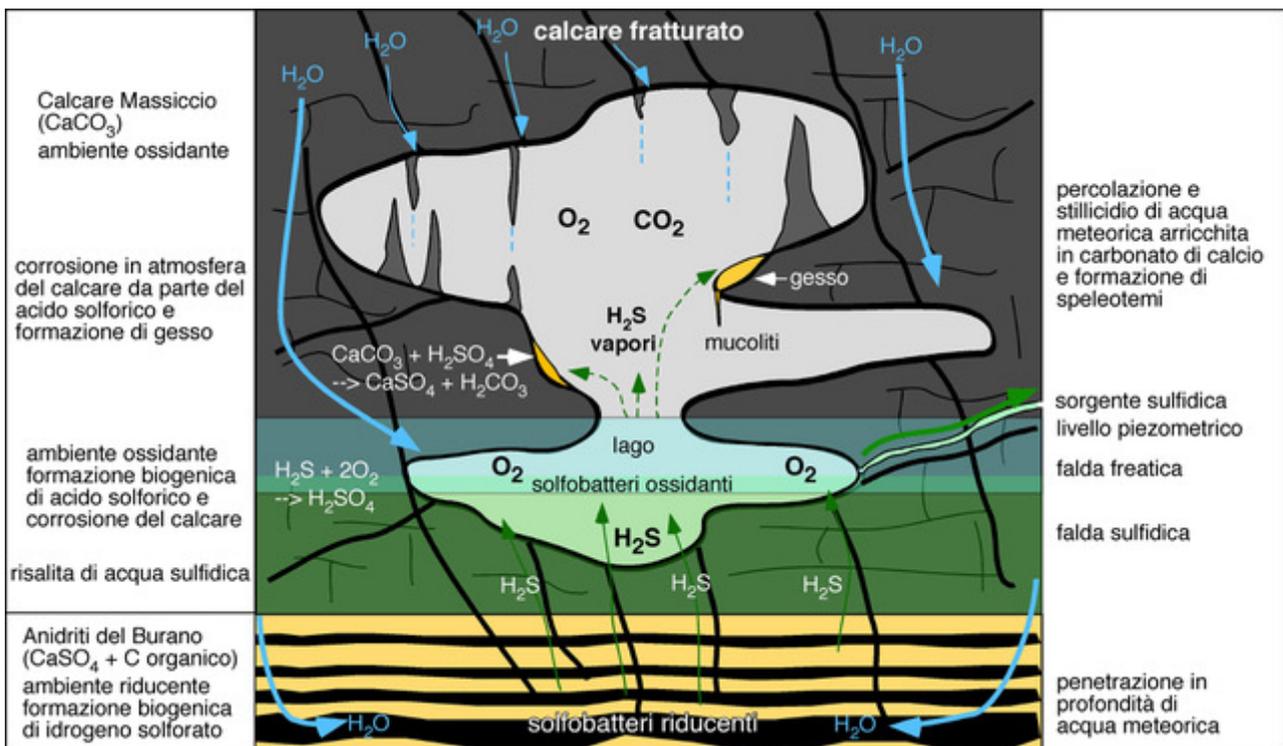


Figura 4. Modello schematico del sistema idrochimico delle grotte di Frasassi.

dizionò irreversibilmente l'evoluzione della vita sul nostro pianeta: la formazione del nucleo. Nacquero così gli eucarioti (il dominio degli Eucarya, dal greco antico *eu* = vero, buono, e *karyon* = noce, nucleo) che nella loro cellula, oltre al DNA racchiuso in un nucleo protetto da una membrana di nuova invenzione, contengono organuli aventi funzioni specializzate e differenziate. I successivi processi evolutivi condussero lentamente alla varietà sorprendentemente complessa e diversificata di organismi unicellulari e multicellulari che oggi conosciamo.

Gli organismi viventi nelle grotte, detti troglifili (dal greco antico *trogles* = grotta, e *philos* = amore) sono quelli che si sono adattati a vivere permanentemente nel buio completo laddove hanno trovato cibo portato lì da abitatori occasionali della grotta (fig. 6). Esiste uno stretto legame tra queste forme di vita e le caratteristiche geologiche delle grotte di Frasassi. Insieme formano un ecosistema ipogeo che può essere confrontato con altri ecosistemi ipogei del pianeta.

Le prime tracce della presenza umana nelle grotte di Frasassi e dintorni risalgono al Paleolitico inferiore-medio, probabilmente intorno a 200.000-100.000 anni fa, per poi continuare fino ai giorni nostri. Molte evidenze ben documentate suggeriscono una frequentazione delle grotte spesso carica di significati rituali, spirituali, religiosi, tanti fotogrammi dell'evoluzione culturale e ideologica dell'Uomo.

La storia interna e quella esterna alle grotte è saldamente intrecciata a quella dell'umanità. Un intreccio così stretto che permette di ricostruire il lungo cammino dei vari gruppi umani che hanno lasciato l'Africa e dei popoli del Mediterraneo e dell'Italia. Dalle lontane origini africane al popolamento dell'Europa, un lunga storia intreccia i destini della nostra specie con quelli di specie congeneri, in particolare con

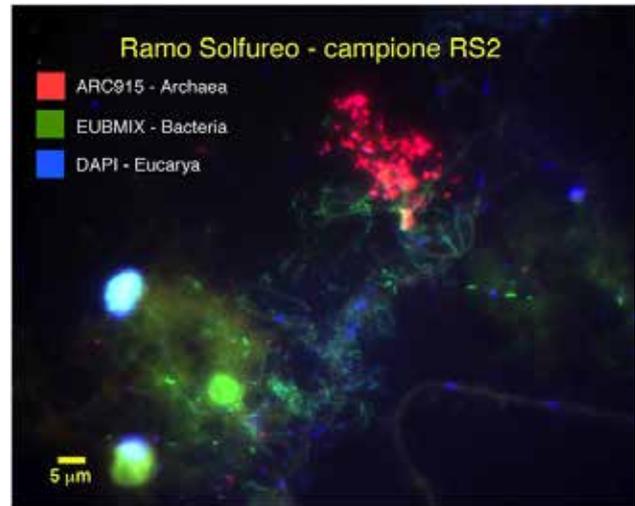


Figura 5. Immagine microfotografica a fluorescenza FISH di un campione di mucolite del Ramo Solfureo con cellule di archea (in rosso), di batteri (in verde) e di eucarioti (in blu).

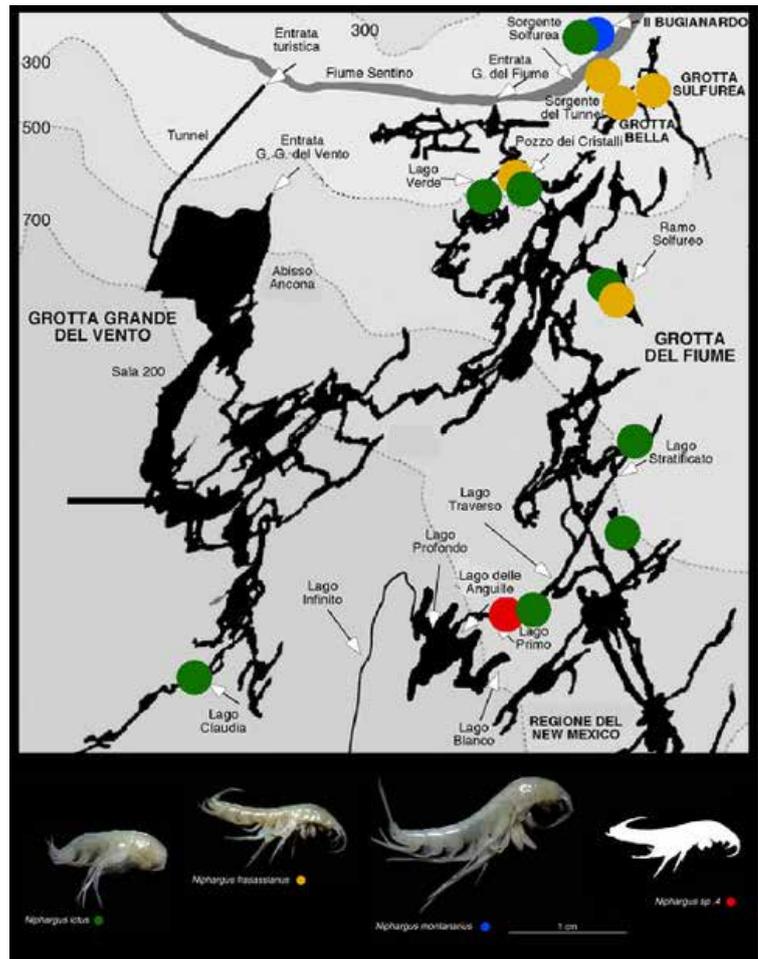


Figura 6. I quattro morfotipi di *Niphargus* del complesso carsico di Frasassi e la loro distribuzione nei laghi della grotta

i Neandertal. Questi ultimi, meno rozzi di quanto si possa presumere sulla base di ricostruzioni affrettate, popolavano da tempo l'Europa quando circa 45.000 anni fa avvenne l'incontro con gruppi di Sapiens giunti dal Medio oriente che portarono alla loro estinzione nel giro di pochi millenni.

A partire da 40.000 anni fa le grotte di Frasassi, in formazione all'incirca da un milione di anni, furono prima utilizzate dagli orsi delle caverne, *Ursus spelaeus*, e poi scoperte dall'Uomo, dai cacciatori di stambecchi che hanno lasciato le loro testimonianze materiali (focolari, strumenti litici, ossa e crani di stambecco) a partire almeno da 16.300 anni fa, come nella Sala del Fuoco, al quinto piano carsico della Grotta del Fiume, scoperta nel 1986 e recentemente oggetto di ricerche (fig. 7).

Nelle Grotte di Frasassi non mancano le testimonianze artistiche del Paleolitico superiore (la Venere di Frasassi e il ciottolo della Grotta della Ferrovia nella Gola della Rossa). Si tratta di oggetti definiti forse riduttivamente artistici, che sottintendono, oltre ai contenuti simbolici inter-soggettivi convenzionali (modelli condivisi di una società globale dai Pirenei alla Siberia passando per l'Italia e Frasassi), capacità di astrazione, di analisi e di calcolo, ponendosi al principio delle scienze geometriche e matematiche.

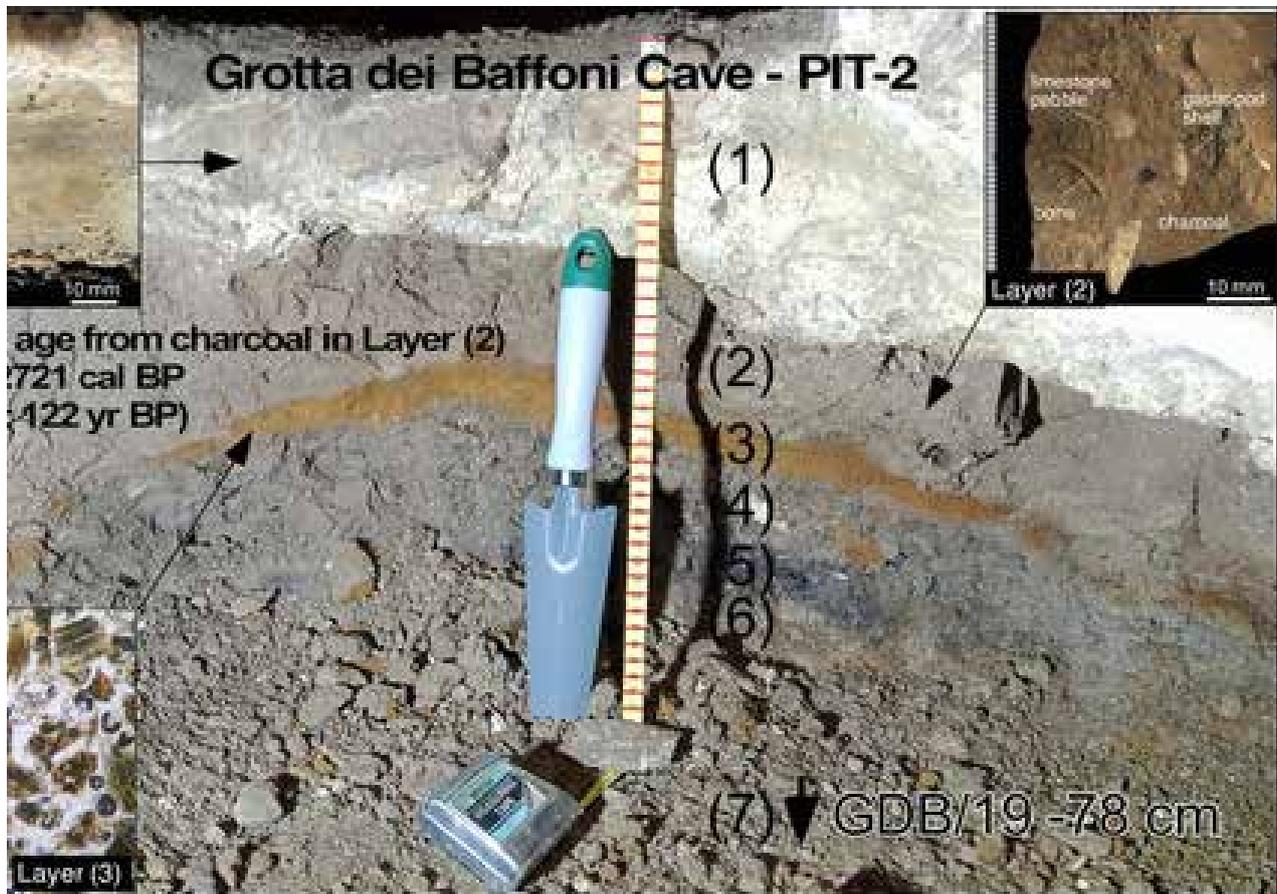
A Frasassi le vicende umane si alternano in questo periodo a eventi naturali, come le eruzioni vulcaniche, le cui ceneri sono penetrate nella Grotta dei Baffoni circa 15.000 anni fa, provenienti da una violenta esplosione vulcanica avvenuta nell'Italia meridionale, probabilmente in Campania, ai Campi Flegrei.

Di poco successivo alla deposizione delle ceneri vulcaniche flegree, ci fu un improvviso evento climatico conosciuto come Dryas recente, anch'esso provocato dall'esplosione di un supervulcano nel cuore della Germania con la conseguente formazione della caldera del Laacher See. Nel momento in cui si usciva dal periodo glaciale del Würm e le condizioni climatico/ambientali si stavano normalizzando, l'esplosione vulcanica del Laacher See causò un repentino e drastico



**Figura 7. Ritrovamento del cranio di stambecco nella Sala del Fuoco (Grotta del Fiume) nel 1986**

abbassamento delle temperature nell'emisfero settentrionale fino a raggiungere condizioni climatico/ambientali simili a quelle dell'ultimo glaciale massimo (Last Glacial Maximum o LGM) di 25.000 anni fa. A Frasassi, l'Uomo durante questa crisi trovò rifugio nella Grotta dei Baffoni dove, per scaldarsi e sopravvivere a questa rinnovata glaciazione, accese dei fuochi i cui carboni sono stati rinvenuti nello Strato 2 del sondaggio Pit-2 (fig. 8). Il Dryas recente si prolungò per ben 900 anni allorché le temperature risalirono rapidamente dando inizio all'attuale Epoca dell'Olocene, che portò a drastici cambiamenti nelle abitudini di vita dell'uomo. Quella che è stata considerata come una rivoluzione, la neolitizzazione, inizialmente è stato piuttosto un processo di trasformazione, sopravvenuto anch'esso passo dopo passo. Dal X millennio a.C., nel Vicino oriente, non fu tanto la scoperta dell'agricoltura a creare i primi villaggi e la sedentarietà, ma, al contrario, furono le prime concentrazioni di persone in villaggi e templi (pensiamo allo straordinario complesso di Gobekli Tepe di 11.500 anni fa) a favorire la diffusione delle nuove conoscenze. Lo



on 21-09-2021	GDB PIT-2/H2	CaCO <sub>3</sub>	Corg	< 63 μm	63-2000 μm	> 2000 μm
/year, sample name	depth (cm)	(wt. %) ± 2	(wt. %) LOI	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)
T-2 Calcite Crust	5 ± 5	~ 100	~ 0	//	//	//
T-2	14 ± 4	36.839	5.84	80.8	14.6	4.6
T-2 bulk	20 ± 2	12.943	19.84	83.8	16.0	0.2
PIT-2 <63 μm	20 ± 2	10.908	14.66	89.0	10.3	0.7
PIT-2 250-500 μm	20 ± 2	//	19.48	89.0	16.0	0.2
T-2	23 ± 2	22.803	5.98	93.3	5.0	1.7
T-2	27 ± 2	38.956	4.46	74.2	12.8	13.0
T-2	32 ± 2	40.812	3.81	70.8	15.0	14.2
File H-2	78 ± 8	42.276	2.87	52.1	18.1	29.8

size analyses were done on 200 dry bulk sediment; \* = second run from same sample.

Figura 8. Grotta dei Baffoni. Sezione stratigrafica con il livello vulcanico color arancione al di sotto del livello con i carboni.

sviluppo della socialità ha portato al progresso dell'Uomo in settori sempre più allargati e diversificati, accelerando progressivamente tale processo. Questo a dimostrazione di come le continue ricerche e scoperte e un approccio critico e oggettivo nell'interpretazione dei dati siano alla base del metodo scientifico e possano talvolta ribaltare alcune tesi che dunque non devono mai essere preconcette.

Anche a Frasassi nuove analisi interdisciplinari hanno portato a definire più nel dettaglio siti, ossa e oggetti rivenuti decenni fa, e che ora sono stati da noi riesaminati con attenzione grazie all'interazione tra scienze, tecnologia e ricerca archeologica. Dopo la Grotta della Beata Vergine (fig. 9) e la Sala del Fuoco, nella Grotta dei Baffoni il nostro gruppo di ricerca ha interconnesso geologia, paleontologia, paleoclimatologia, datazioni radioisotopiche, archeologia, archeologia sperimentale, grazie a tante preziose collaborazioni, per giungere a risultati di estremo interesse. E per questo motivo abbiamo chiesto di poter riprendere gli scavi nella Grotta dei Baffoni e proseguire queste importantissime ricerche che coprono più di 40.000 anni di storia.

La storia dell'Uomo a Frasassi nelle varie epoche non può prescindere neppure dai confronti e dai riferimenti con quanto avveniva in Europa e nelle regioni del Mediterraneo in età protostorica, dalla civiltà egizia a quella minoica e micenea, con la quale nelle Marche riusciamo a trovare importanti relazioni. Relazioni che riguardano aspetti non solo materiali, ma anche ideologici, che si riflettono nei rituali funerari e di culto che avvenivano all'interno delle grotte, tra Età del rame ed Età del bronzo, tra IV e II millennio a.C., con sepolture e deposizioni di vasi e oggetti di pregio di aspetto e significato altamente simbolico, in onore di divinità sotterranee o di antenati.

Alla fine del II millennio a.C. i siti funerari e le aree di culto si spostarono dalle grotte all'aperto, come nella necropoli a incinerazione di Pianello di

Genga del Bronzo finale, tra 1200-1000 a.C., a seguito delle nuove credenze religiose rivolte alle divinità astrali e solari, fino a giungere alle divinità antropomorfe umbro-picene del I millennio a.C., che si rifanno al mondo divino del pantheon greco e italico.

La frequentazione delle grotte riprese in età romana, forse rispondendo a esigenze pratiche o di culto. In età romana le grotte erano considerate sedi delle divinità infernali e via d'accesso al regno dei Morti, gli Inferi, simili alla profonda spelunca cantata da Virgilio nell'Eneide, dove discesero Ulisse per conoscere il proprio futuro ed Enea per incontrare il padre Anchise, un prezioso spunto per interessanti collegamenti con la letteratura.

Le grotte rappresentarono un sicuro rifugio durante i secoli finali dell'impero romano, travagliati da continue guerre e calate di "barbari" fino all'invasione longobarda, eventi che segnarono un punto di non ritorno e il collasso di un sistema. E proprio tra VI e VII secolo, in concomitanza con l'invasione longobarda, si colloca un evento climatico che ha contribuito ad accelerare tali criticità, la piccola era glaciale tardo antica LALIA (*Late Antique Little Ice*

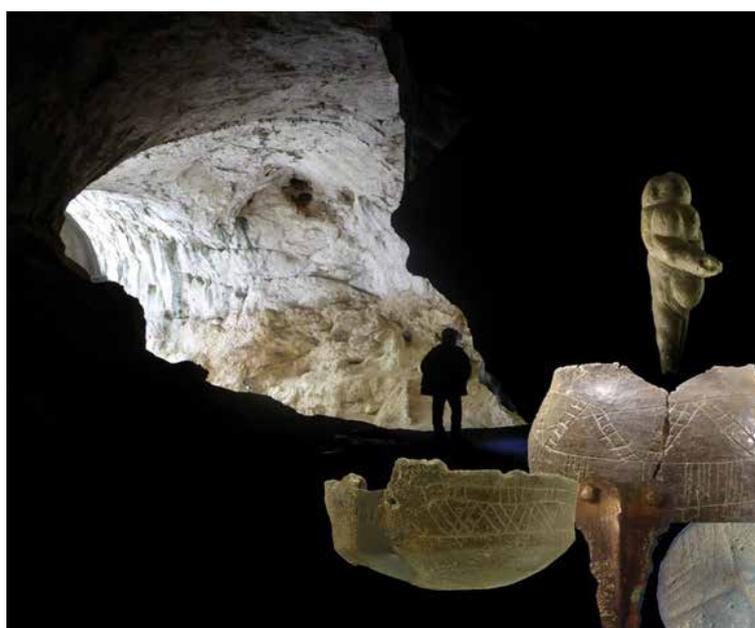


Fig. 9. Alcuni dei ritrovamenti archeologici nella grotta della Beata Vergine di Frasassi.

Age) riconosciuta attraverso dettagliate analisi stratigrafiche dei depositi formati a seguito di una violenta inondazione e di una frana, eventi avvenuti nell'Alto Medioevo lungo il fiume Esino, nei pressi di Trocchetti, a brevissima distanza dalla romana *Tuficum*, abbandonata all'epoca. Con i Longobardi ci si avvia verso l'era cristiana, che a Frasassi ha lasciato esempi di architettura religiosa di grande impatto e bellezza, due dei quali all'interno della Grotta della Beata Vergine. La piccola chiesetta di Santa Maria infra Saxa, nata forse come romitorio ancor prima dell'XI secolo e che si ricollega al fenomeno dell'eremitismo, assai diffuso nel territorio, e il magnifico tempio di Santa Maria di Frasassi, voluto dal cardinale Annibale della Genga, futuro pontefice Leone XII, e terminato nel 1827. E proprio uno studio accurato condotto da Maria Cristina Cavola, alla quale si deve il

capitolo dell'e-book sul tempio di Santa Maria di Frasassi (noto come "tempio del Valadier" ma che del Valadier non è), ha appurato, attraverso i documenti originali dell'archivio privato dei discendenti del papa, che nessun progetto riporta la firma o riferimenti all'architetto Giuseppe Valadier, al quale comunemente tale opera è attribuita.

Questo lavoro di sintesi, oltre a stimolare la curiosità e a far comprendere come da piccoli spunti, attraverso ricerca, studio e approfondimento si possano aprire sempre nuove strade di conoscenza e di comprensione, può essere importante per mostrare come alla base della ricerca scientifica in tutti i campi e della corretta divulgazione debba esserci una continua e rigorosa analisi dei dati, continuamente aggiornati sulla base delle nuove tecnologie e conoscenze. ●

### Big History, storie integrate dell'universo

La Big History è una disciplina accademica che esamina la storia dal Big Bang a oggi con la potenza di uno sguardo multidisciplinare basato sulla combinazione di campi del sapere che spaziano dal settore scientifico a quello umanistico. Nata per ricreare una visione unitaria dell'evoluzione del cosmo, della Terra, degli organismi viventi e anche dell'uomo, senza mettere in discussione la validità degli studi specialistici, fu codificata quando nel 2005 David Christian pubblicò *Map of Time, an introduction to Big History*, una narrazione analitica della storia integrata dell'universo.

Nel 2010 si costituì presso l'Osservatorio Geologico di Coldigioco (Airo – MC), l'International Big History Association, IHBA ([www.bighistory.org](http://www.bighistory.org)). Nello stesso anno della fondazione dell'IBHA, Walter Alvarez pubblicò in Italia *Le Montagne di San Francesco*, un saggio in cui si intrecciano tre livelli temporali: la storia geologica dell'Italia, la storia umana che vi si è svolta e le proprie esperienze personali. Esperienze che a loro volta intersecano, tra l'altro, lo stesso Alessandro Montanari, direttore dell'Osservatorio Geologico di Coldigioco di Airo (MC) ([www.coldigioco.org](http://www.coldigioco.org)). L'OGC fu creato in un borgo abbandonato, che ha ripreso vita grazie all'integrazione tra ricerca e insegnamento come naturale prosecuzione del "Renaissance Geology Group", nato qualche anno prima presso l'università di Berkeley per promuovere, con studiosi e studenti, escursioni e ricerche geologiche nell'Appennino umbro-marchigiano dove Walter Alvarez, il leader del gruppo, aveva individuato presso la Gola del Bottaccione (Gubbio) un livello argilloso ricco di iridio, risalente a 65 milioni di anni fa, il limite K/T (fine del Cretacico/inizio del Terziario oggi denominato limite K-Pg).

Qui, a cavallo delle montagne dell'Appennino umbro-marchigiano, è dunque possibile ricostruire la storia integrata del nostro pianeta dalla cosmologia alla geologia, dalla biologia alla storia umana.

## Il progetto ArAl: un intreccio tra aritmetica e algebra

The article presents the ArAl Project, a way for didactic innovation that believes the teaching of arithmetic in a pre-algebraic key. The aim is giving a vision of algebra as a language showing socio-constructive teaching methods starting from the exploration of appropriate problem situations. Giancarlo Navarra's book *Arithmetic and Algebra: an intertwined learning path from 5 to 14 years ago* is the leitmotif of the whole discourse.

Keywords: *ArAl Project, Arithmetic and algebraic teaching methods*

Lucia Stelli

### *Early algebra e Progetto ArAl*

Dopo aver letto la prima parte dell'articolo di Matej Bresar "Pensando alla matematica", in cui l'autore ha demolito gli stereotipi sulla matematica e su chi fa ricerca matematica, ho pensato che una testimonianza di ciò che da anni la ricerca in didattica della matematica sta facendo per cambiare l'insegnamento tradizionale, potesse contribuire a guardare con fiducia al futuro della matematica scolastica.

La ricerca in didattica della matematica non è una novità in quanto a partire dagli anni Ottanta in varie Università Italiane sono stati creati nuclei di ricerca didattica che hanno visto numerosi insegnanti collaborare con docenti universitari al fine di integrare il piano della pratica e quello della teoria. Nel corso degli anni, per conciliare la razionalità matematica con gli aspetti psicologici, sociali, relazionali del contesto educativo, sono nate anche varie collane di libri rivolti in primis agli insegnanti. Tra queste spicca *Nuove Convergenze: strumenti per l'insegnamento della matematica*<sup>1</sup> curata dall'Unione matematica Italiana (UMI) e la sua Commissione Italiana per l'Insegnamento della Matematica (CIIM). La recente pubblicazione in questa collana del libro di Giancarlo Navarra *Aritmetica e algebra. Un percorso intrecciato dai 5 ai 14 anni* mi ha spronato a scrivere del *Progetto ArAl*<sup>2</sup>, avviato nella prima metà degli anni ottanta presso l'Università di



1. <https://umi.dm.unibo.it/attivita-della-ciim/progetti-editorial/collana-nuove-convergenze/>
2. <http://www.progettoaral.it/>

Modena e Reggio Emilia dal Gruppo di Ricerca in Educazione Matematica (GREM) diretto da Nicolina A. Malara<sup>3</sup>. Si tratta di un progetto che si colloca nella cornice dell'*Early algebra*, un filone di ricerca che si è sviluppato per rispondere all'esigenza di superare le tipiche difficoltà associate allo studio del formalismo algebrico da parte degli studenti che troppo spesso non controllano il significato degli oggetti che si trovano a manipolare.

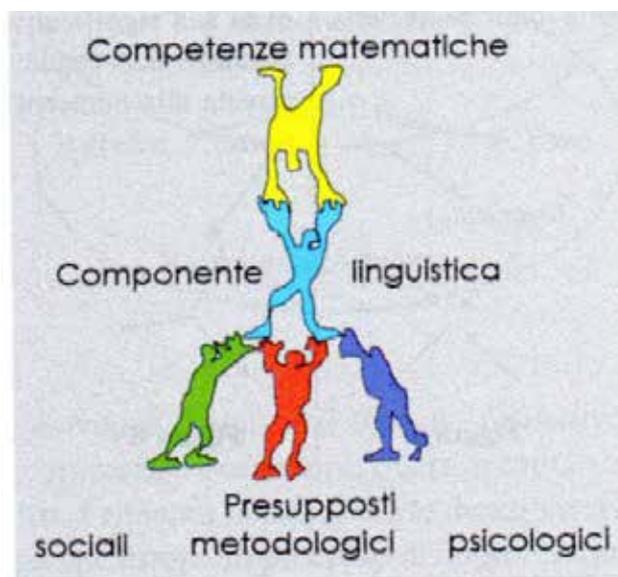
La ricerca ha sottolineato l'importanza di favorire la costruzione di questi significati fin dai primi anni di scuola, a partire dall'infanzia e la primaria, con l'obiettivo di algebrizzare l'aritmetica. Con l'*Early algebra* si vuole dimostrare, a differenza di ciò che avviene nell'insegnamento tradizionale della matematica, in cui lo studente incontra l'algebra alla fine della scuola secondaria di primo grado, come sia possibile ed efficace iniziare molto prima l'avvio al pensiero algebrico. Quindi, non tanto un approccio precoce all'algebra quanto l'algebra degli inizi, per scoprire il volto algebrico di ciò che viene, normalmente, visto solo come aritmetica. L'obiettivo di fondo è quello di guidare i docenti verso il superamento della classica concezione procedurale dell'aritmetica (fare operazioni, cercare risultati) verso una concezione relazionale della stessa (punto di vista del rappresentare contrapposto al risolvere) che promuova gli aspetti metacognitivi e metalinguistici delle attività matematiche.

Si tratta quindi di costruire quelle strutture mentali necessarie per il futuro apprendimento del linguaggio algebrico, consentendo agli alunni di guardare l'aritmetica con occhi algebrici. Questo accade se l'attenzione viene spostata da attività tradizionali, meramente focalizzate sul processo di calcolo, sui seguenti temi caratterizzanti i diversi approcci attraverso i quali l'aritmetica può essere algebrizzata:

- guidare a vedere il generale nel particolare, lavorando su attività di esplorazione, congettura e argomentazione;
- stimolare l'esplicitazione di regolarità osservate (ad esempio quelle alla base delle costruzioni di successione);
- supportare l'interpretazione di procedure in termini concettuali;
- focalizzare l'attenzione sulle relazioni e sulla loro rappresentazione.

Il *Progetto ArAl* è stato oggetto di articoli, quaderni di lavoro, presentazione a convegni, seminari, corsi di formazione<sup>4</sup> e consta di un'imponente mole di materiali che potrebbe disorientare l'insegnante che si accosta al progetto. Per l'ampiezza di prospettive che apre può apparire labirintico e proprio per questo l'autore del libro si preoccupa per prima cosa di dare un sistema di riferimento che favorisca la comprensione del progetto e gli spostamenti al suo interno.

Basta dare un'occhiata all'indice per rendersi conto di questo. A una parte introduttiva in cui è presentato il lungo cammino del progetto e la sua struttura, seguono cinque parti, tutte che iniziano con le parole "Aspetti Chiave di carattere..." che nell'ordine si completano con: metodologico, sociale, psicologico, linguistico, matematico. Tale struttura viene rappresentata con una piramide umana in cui i ginnasti che la formano sono usati per marcare visivamente il percorso di lettura.



3. <http://www.aracneeditrice.it/index.php/autori.html?auth-id=9053>

4. [https://www.youtube.com/watch?v=zjEgMyAIggw&ab\\_channel=AIRDM](https://www.youtube.com/watch?v=zjEgMyAIggw&ab_channel=AIRDM)

Sarebbe troppo lungo entrare qui nel merito di tutti questi aspetti, per cui mi limito a fare alcuni esempi di attività per dare l'idea di cosa viene proposto e come viene condotto il lavoro in classe intrecciando tutte le componenti della piramide umana. L'idea sottesa è quella di partire dal vertice della piramide per fare emergere tutti gli elementi della sua impalcatura.

**Descrizione di un'attività condotta con bambine/i di 5 anni**

L'insegnante fa vedere ai bambini una fila di scatole colorate secondo il modulo blu-giallo-giallo-rosso con una delle scatole coperta da un panno e chiede qual è il colore di questa scatola. La risposta viene data velocemente: la scatola è gialla.



Ma l'insegnante non si accontenta del semplice *gialla* e chiede ai bambini di spiegare come hanno fatto a capire il colore, spostando la loro attenzione dal prodotto al processo e spingendoli ad argomentare la propria scelta. Ottiene risposte molto differenti:

- a) Lì ci sono due scatole gialle (*l'alunna indica la seconda e la terza scatola*);
  - b) Tra la blu e la rossa (*l'alunno tocca le scatole che stanno all'inizio e alla fine di un modulo*) ci sono due gialle);
  - c) Lì (*l'alunno indica la seconda rossa prima di quella coperta*) prima di una rossa c'è una gialla, allora vicino a questa rossa (*indica la scatola dopo il panno*) c'è la gialla (*indica quella nascosta*);
  - d) (*L'alunna man mano che parla, tocca le scatole cominciando dalla prima*) Blu gialla gialla rossa blu gialla gialla rossa blu gialla gialla! (*è chiaramente orgogliosa della scoperta e continua a sfiorare le scatole successive, rapita - momento per momento - dalla naturalalezza con cui si legano il pensiero, la parola, il gesto, la verifica*).
- Le risposte permettono di individuare almeno quattro diverse percezioni della situazione da parte dei bambini che notano:

- a) il ripetersi della coppia gialla-gialla



- b) il ripetersi della relazione coppia di gialle fra una blu e una rossa



- c) il ripetersi della coppia gialla-rossa



- d) il ripetersi del modulo blu-gialla-gialla-rossa.



È questo un esempio di come la percezione giochi un ruolo importante nella costruzione dei concetti matematici. I primi tre bambini si sono concentrati su percezioni locali mentre la quarta bambina ha percepito globalmente la successione. La condivisione delle percezioni porta a due esiti positivi: ogni bambino affina la capacità di vedere con gli occhi dell'altro ampliando così il campo dei modi di guardare a quella realtà e riflette insieme agli altri sulla differenza tra percezioni locali e percezione globale.

Già si intuisce quanto la ricerca di regolarità sia un ambiente fertilissimo per la maturazione delle competenze in ambito aritmetico e algebrico. Vediamone uno sviluppo.

**Altre attività con i moduli**

Alla richiesta di esprimere in linguaggio matematico la strategia per trovare da quante perle la seguente collana è formata si raccolgono solitamente le due tipologie di spiegazioni: una che si serve della rappresentazione  $2 \times 8 + 3 \times 8$ , e una, in minor misura, che ricorre a  $(2+3) \times 8$ .



Ciò porterà a concettualizzare l'equivalenza  $2 \times 8 + 3 \times 8 = (2+3) \times 8$ , costituendo un approccio significativo alla proprietà distributiva. L'evoluzione dell'attività condurrà alla conquista del significato generale di questa scrittura e a una sua rappresentazione come  $a \times c + b \times c = (a + b) \times c$  che porterà alla comprensione della proprietà distributiva.

L'attività con i moduli, intrecciando i linguaggi grafico, naturale e matematico, si presta poi a spingere la percezione oltre la rappresentazione grafica visibile.

Ad esempio di fronte a una successione come questa di modulo 4, come fare a stabilire quale figura ci sarà al 75° posto?



La risposta è un rettangolo, ma da quale ragionamento scaturisce?

Dalla divisione  $75:4$  ricaviamo che 75 elementi comprendo 18 moduli completi e 3 elementi del 19° modulo incompleto, in linguaggio matematico:  $75 = 4 \times 18 + 3$ .

Purtroppo, sebbene sottolineato dalle Indicazioni Nazionali e da decenni riconosciuto e promosso dalla ricerca, il ruolo assegnato ai linguaggi nella costruzione delle competenze in ambito matematico viene spesso trascurato dagli insegnanti.

### Rappresentazione canonica/non canonica del numero

A proposito del ruolo dei diversi linguaggi, la rappresentazione canonica/non canonica del numero, che può essere introdotta a partire dalla classe prima della scuola primaria, è una delle competenze fondamentali per costruire una visione relazionale della matematica.

Chiunque pensi a un numero pensa a una quantità espressa mediante la sua rappresentazione posizionale in base dieci che dà nome al numero, ed è per questo che essa è detta canonica; ad esempio 12 si chiama *dodici*.

Questa rappresentazione è opaca di significati nel senso che dice poco di sé. Un numero tuttavia può essere rappresentato in infiniti altri modi, ognuno dei quali ha un determinato senso proprio nel processo soggiacente:  $7+5$ ,  $13-1$ ,  $4 \times 3$ ,  $5 \times 3 - 3$ , sono rappresentazioni non canoniche del numero 12 e ampliano il campo delle informazioni che lo riguardano, sono cioè trasparenti in termini di significati, in quanto permettono di cogliere proprietà del numero che la rappresentazione canonica non mostra. Per esempio la rappresentazione  $4 \times 3$  rende evidente che 12 è multiplo di 4 e di 3.

Le diverse rappresentazioni non canoniche di un numero permettono di fare emergere il ruolo svolto dal simbolo di uguaglianza come rappresentazione di una relazione (significato relazionale) contrapponendolo significato tradizionale del calcolare (significato procedurale).

Data l'importanza del tema uguaglianza, nel libro viene dedicato un intero capitolo a questo tema. Dalla sua lettura emerge come una didattica tradizionale generi misconcezioni destinate a consolidarsi sempre più nel tempo e come con un approccio diverso si possa anche con alunni molto giovani costruire il significato relazionale del segno '='.

La concezione del risultato a destra dell' '=' si radica negli alunni fin da prima del loro ingresso nella scuola, da quando avvertono l'approvazione degli adulti per la capacità di dire *quanto fa* un certo calcolo. Educati a una logica esecutiva, non sono stati portati a interrogarsi sul significato dell'uguale. Ecco che fin dalla prima classe della scuola primaria è importante costruire un imprinting relazionale che andrà costantemente vitalizzato adattandolo a nuove circostanze.

### Significato relazionale del segno di uguaglianza: il gioco delle mascherine

Si può cominciare con il *Gioco delle mascherine*, una festa organizzata dai numeri, proprietari delle maschere, inizialmente indossate dagli stessi alunni. Ogni maschera porta scritta una rappresentazione di un numero in forma non canonica, e si chiede agli alunni di riconoscere le mascherine che nascondono numeri fratelli, riconducibili cioè allo stesso numero.



Ad esempio le mascherine  $11+7$  e  $20-2$  nascondono numeri fratelli e appartengono alla famiglia 18, mentre le mascherine  $4+9$  e  $10+4$  non sono numeri fratelli. A questa fase di riconoscimento di numeri fratelli segue poi la richiesta di mettere sulla stessa panca identificata dal numero scritto in forma canonica le mascherine quando sono

stanche. A questo punto si chiede agli alunni di scrivere un messaggio a un bambino straniero che non conosce l'italiano (nel progetto è stato scelto di chiamarlo Brioshi) per fargli capire chi



sono i numeri fratelli. Brioshi non conosce l'italiano, ma capisce molto bene il linguaggio della matematica.

Dalla scrittura iniziale

$$3+5=8, 6+2=8, 5+3=8$$

alla fine la situazione rappresentata per Brioshi sarà:

$$8 = 3+5=6+2=5+3$$

Il compito comporta i seguenti passaggi:

- capire la consegna da "tradurre per Brioshi";
- esprimere la relazione fra rappresentazioni di numeri;
- trovare i simboli matematici adatti;
- confrontare le proprie proposte con quelle dei compagni;
- interpretarle e commentarle.

Si inizia così a gettare le premesse per controllare i significati delle formule e delle loro trasformazioni.

### **Dal linguaggio naturale a quello algebrico**

Numerose sono le attività rivolte a classi più avanzate dalle quali emerge che l'algebra dovrebbe essere insegnata come un nuovo linguaggio. Il percorso avviato nella scuola primaria trova infatti nella secondaria di primo grado il contesto più fertile per essere sviluppato e messo a frutto. Ecco un esempio di come traghettare gli alunni dal linguaggio naturale a quello algebrico.

L'insegnante sceglie di lavorare sulla somma fra un numero e il suo successivo e propone le seguenti tre scritture. Chiede poi di esprimere in linguaggio naturale una caratteristica comune:

$$3+4 \quad 35+36 \quad 578+579$$

È probabile che gli alunni le interpretino da un punto di vista procedurale e dicano che la caratteristica è quella di "Aggiungere a un numero quello che viene subito dopo" e calcolino i risultati 7, 71, 1157. Per loro il discorso finirebbe qui. Ma

qualcuno potrebbe anche dire che le tre scritture rappresentano "la somma fra un numero e il suo successivo". Si può allora chiedere di utilizzare forme non canoniche per esprimere "il numero successivo" pervenendo alle seguenti scritture che esprimono in modo trasparente la relazione tra i numeri di ogni coppia:

$$3+(3+1) \quad 35+(35+1) \quad 578+(578+1).$$

Un primo trattamento porta poi a togliere le parentesi:

$$3+3+1 \quad 35+35+1 \quad 578+578+1.$$

Un secondo trattamento porta a riscrivere le somme di numeri uguali in forma moltiplicativa come il loro doppio:

$$2 \times 3 + 1 \quad 2 \times 35 + 1 \quad 2 \times 578 + 1.$$

L'osservazione delle regolarità in queste scritture indurrà gli alunni a vedere in modo nuovo la somma di due numeri uno successivo dell'altro e ad esplicitarla:

$$3+4=2 \times 3+1 \quad 35+36=2 \times 35+1$$

$$578+579=2 \times 578+1.$$

Si può così produrre una definizione di carattere generale che potrà essere: "la somma fra un numero e il suo successivo è uguale alla somma del doppio del numero stesso e 1", o anche: "la somma fra un numero e il suo successivo è il successivo del doppio del numero stesso".

Va da sé che tutti i passaggi del ragionamento debbano essere il risultato di una discussione con e fra i ragazzi in modo che siano loro stessi a pervenire alle due formulazioni. Con gli alunni più grandi si possono anche ricercare le ragioni che giustificano questa uguaglianza sul piano matematico ( $n$  è un numero naturale). Sono necessari tre passaggi.

- La scrittura  $n+(n+1)$  a sinistra dell'uguale si può riscrivere come  $(n+n)+1$  applicando la proprietà associativa, ottenendo  $n+(n+1) = (n+n)+1$ .
- Per la definizione di moltiplicazione  $n+n=2 \times n$
- Per il principio in base al quale se si sommano cose uguali a cose uguali si ottengono cose uguali possiamo scrivere:  $(n+n)+1=2 \times n+1$ .

Un uso attento del linguaggio naturale e di quello matematico può quindi mediare il passaggio dal linguaggio verbale a quello simbolico dell'algebra.

L'insegnante, lungo questa progressiva riflessione sul linguaggio che tende alla formalizzazione, promuove la verbalizzazione, l'argomentazione, la discussione, la traduzione, il confronto fra le rappresentazioni e le interpretazioni elaborate dagli alunni, educa in sintesi alla conquista di competenze matematiche.

Agli insegnanti non resta quindi che avvicinarsi al mondo della ricerca in didattica della matematica e intanto attingere a piene mani alla documentazione del *Progetto ArAl* per imparare nuove strade lungo cui muoversi e far sì che gli studenti si appropriino degli strumenti adeguati a comprendere e amare la matematica. ●

**Piero Bianucci**  
**Creativi si nasce o si diventa?**  
 Edizioni Dedalo, Bari, 2022



“La creatività non è assegnabile a funzioni specifiche del cervello, benché alcune prevalgano in certe fasi del processo creativo. È il pensiero fluido – laterale e divergente – quello che riconfigura il problema, capovolge il punto di vista e scatena il gioioso istante Eureka! Il solito Einstein lo esprime così: “la creatività è un cervello che si diverte”.

Cos'è la creatività? Una dote innata o qualcosa da stimolare?

Tra storia, neuroscienze, arte e umorismo, Piero Bianucci esplora uno degli aspetti più affascinanti e misteriosi della nostra mente. L'autore, scrittore e giornalista scientifico, collabora con *La Stampa*, la Rai e la radio svizzera, con questo testo breve e vivace esplora il tema in modo chiaro, divulgativo quanto basta per tenere l'attenzione, senza rinunciare alle spiegazioni necessarie, partendo dalla memoria e dall'intelligenza, soffermandosi brevemente sull'anatomia e sulle funzioni del cervello per giungere alle caratteristiche delle persone e degli ambienti creativi. Dall'arte alla scienza, la creatività nelle sue molteplici espressioni sembra essere il vero tratto distintivo della specie umana. Mentre la cultura è importante ma non indispensabile alla riuscita artistica personale, il carattere sommatorio della scienza fa sì che conoscere bene l'esistente sia essenziale perché la grande intuizione individuale è rara, mentre

la regola è una stretta collaborazione. La capacità di meravigliarsi, la curiosità e uno sguardo insolito sulle cose sono essenziali, accompagnati però dal lavoro di ricerca costante e da un uso fecondo dell'errore.

La memoria gioca un ruolo importante, dato che “soluzioni creative richiedono al cervello di integrare inconsciamente le informazioni, permettendo così di vedere il problema sotto una nuova luce”, come scrive Kandel. A proposito dell'intelligenza, della quale occorrerebbe discutere sia l'articolata definizione che la problematica misurazione, mentre “è verosimile che chi esprime una vivace creatività scientifica abbia un quoziente intellettivo elevato”, sarebbe interessante una ricerca che appurasse quanto sono creative le persone con un quoziente intellettivo alto.

Nell'esplorazione del cervello si sono fatti enormi progressi. La parola chiave è connettoma, la rete che congiunge i neuroni. Ereditiamo genoma e connettoma dai genitori, ma mentre il primo è stabile, il secondo conserva la sua flessibilità per tutta la vita, riconfigurandosi attraverso le esperienze che fanno di noi le persone che siamo.

Genitori e scuola hanno dunque un'enorme responsabilità nel preservare e incoraggiare i bambini, che sono naturalmente dotati di pensiero divergente connotato da gratuità, atteggiamento giocoso, allegria e irriverenza. La scuola spesso rema contro, quando presenta i problemi già confezionati e chiede soluzioni cristallizzate, che nascondono i percorsi di ricerca e di scoperta, costruendo così un abito mentale da indossare automaticamente in ogni situazione.

Sembra proprio che creativi un po' si nasce e un po' si diventa. E allora la scuola dovrebbe insegnare la creatività e non soffocarla, rivalutando mani e piedi che sono prolungamenti del cervello. Decine di studi provano infatti che l'attività fisica stimola nel cervello le aree della creatività e dunque occorrono laboratori di fisica e chimica, spazi e tempi per la musica e la ginnastica.

Tuttavia, poiché la plasticità del cervello sembra essere simile a quella dell'argilla, gli stili di vita sono fondamentali e non è mai troppo tardi per sviluppare la creatività e la “riserva cognitiva” a cui attinge.

Maria Castelli

# Pensando alla matematica\*. Parte seconda

Matej Brešar

Although we all come across mathematics, there is an air of mystery surrounding it. What is its meaning and importance? Why do mathematicians think about it as an art form? And what do they actually do? This text addresses these questions and seeks to open the door to the world of mathematics and mathematicians.

Keywords: *Mathematics, Mathematical thinking*

## Numeri primi e atemporalità

Quando noi matematici cerchiamo di convincere un profano di matematica che la matematica è interessante e bella, spesso ci troviamo in difficoltà. È difficile fare esempi appropriati. La matematica si occupa di concetti astratti cui diamo determinati nomi. Senza familiarità con questi nomi, la conversazione è impossibile. In realtà, la sola familiarità non è sufficiente. Possiamo discutere di questi concetti se li comprendiamo davvero bene, e ciò richiede anni di studio.

Ma lasciatemi provare lo stesso. Sceglierò un argomento che, evitando i dettagli, si spera possa essere presentato in modo sia facile da capire sia matematicamente profondo: i numeri primi.

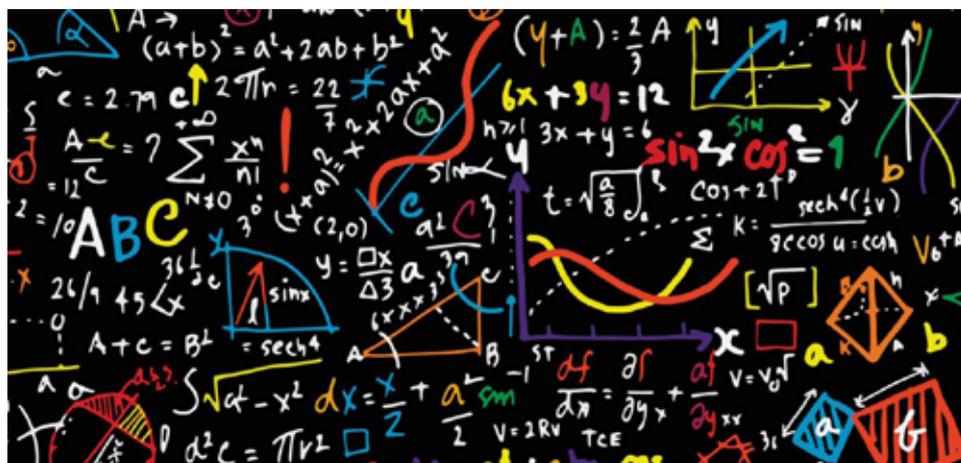
*Definizione.* Un numero naturale  $p > 1$  è un numero primo se è divisibile solo per 1 e per se stesso.

Ad esempio, 2 e 3 sono numeri primi, ma 4 non lo è perché è divisibile per 2. I numeri primi sono gli elementi costitutivi dei numeri interi. Ad eccezione di 1, ogni numero naturale è il prodotto di numeri primi. Ad esempio,  $4 = 2 \cdot 2$ ,  $6 = 2 \cdot 3$ ,  $90 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5$ , ecc. Per convenzione, diciamo anche che ogni primo  $p$  è uguale al prodotto dei fattori primi. Tuttavia in questo prodotto c'è un solo fattore, il numero  $p$  stesso.

Scriviamo il fatto sopra citato come teorema e dimostriamolo.

*Teorema.* Ogni numero naturale, tranne 1, è un prodotto di numeri primi.

*Dimostrazione.* Supponiamo che non sia vero. Allora esisterebbero numeri naturali diversi da 1 che non possono essere scritti come prodotti di numeri



\* Questo testo è apparso originariamente in *Nastopna predavanja 2015 in 2017, Slovenska akademija znanosti in umetnosti*, Ljubljana, 2019. La

traduzione è stata curata da Fabio Fantini insieme allo stesso Autore, con la supervisione di Antonio Ioppolo.

primi. Sia  $n$  il più piccolo di tali numeri.

Tutti i numeri minori di  $n$  e maggiori di 1 possono quindi essere presentati come prodotto di primi, ma non  $n$ . Ciò significa, tra l'altro, che  $n$  non è un primo. Pertanto può essere scritto come  $n = r \cdot s$ , dove  $r$  e  $s$  sono numeri naturali diversi da 1 e da  $n$ . Poiché entrambi sono minori di  $n$ , per ipotesi ciascuno di essi è uguale al prodotto di primi. Ma allora anche  $n$  è il prodotto di primi - anzi, è il prodotto di quei primi che si trovano nelle fattorizzazioni di  $r$  e  $s$ . Siamo arrivati a una contraddizione. Abbiamo ipotizzato che  $n$  non sia un prodotto di primi, ma ora siamo arrivati a una tale fattorizzazione. Questa contraddizione deriva dall'ipotesi iniziale che alcuni numeri naturali diversi da 1 non possono essere scritti come prodotti di primi. Pertanto, non esistono tali numeri e il teorema è dimostrato.

Questo teorema è semplice. Chiunque abbia una certa affinità con la matematica può trovare almeno un'interpretazione intuitiva della sua correttezza, se non una dimostrazione rigorosa. Il teorema seguente è più profondo.

*Teorema.* Esistono infiniti numeri primi.

*Dimostrazione.* Supponiamo che esista solo un numero finito di numeri primi. Denotando il loro numero con  $n$ , possiamo allora indicare i soli primi con  $p_1, p_2, \dots, p_n$  (per esempio, possiamo prendere  $p_1 = 2, p_2 = 3$ , ecc. ma l'ordine di  $p_1, p_2, \dots, p_n$  non è rilevante ai fini della prova). Consideriamo il prodotto di tutti i numeri primi a cui aggiungiamo 1, cioè il numero  $N = p_1 p_2 \dots p_n + 1$ . Per il teorema precedente, il numero  $N$  è uguale al prodotto di alcuni primi. Pertanto, esiste un primo  $p_j$  che lo divide. Quindi,  $N = qp_j$  per qualche numero naturale  $q$ , e quindi  $qp_j = p_1 p_2 \dots p_n + 1$ . Osserviamo che questo può essere scritto come

$$(q - p_1 p_2 \dots p_{j-1} p_{j+1} \dots p_n) p_j = 1.$$

Ma il prodotto di un numero intero per un numero primo non può essere uguale a 1! L'ipotesi che esista solo un numero finito di primi ci ha portato a una contraddizione. Pertanto, esistono infiniti numeri primi.

La dimostrazione è tratta dal libro di Euclide *Gli elementi*, scritto circa nel 300 a. C. È stata solo tradotta in un linguaggio matematico più moder-

no, per il resto è rimasta invariata. E insuperata. Cosa rimane immutato e insuperato dopo migliaia di anni? La matematica di prima qualità è senza tempo, immortale, mentre la buona matematica invecchia molto lentamente.

Lasciate che vi spieghi cosa intendo quando dico che la dimostrazione di Euclide è insuperata. Anche se nel corso degli anni sono state scoperte numerose nuove dimostrazioni, è ancora la dimostrazione classica di Euclide quella che presentiamo agli studenti. Alcune delle nuove dimostrazioni sono davvero belle e sorprendenti. Ma nessuna è semplice come quella di Euclide. In matematica, la semplicità è un valore. Semplicità, chiarezza, comprensibilità. Questi sono gli obiettivi della matematica. La matematica non è complicata. È il nostro mondo che è complicato. La comprensione dei numeri primi è una sfida eterna della matematica. Esistono ancora molti vecchi problemi sui numeri primi, facili da enunciare ma rimasti irrisolti. Ne cito due. La congettura di Goldbach del 1742 propone che, ad eccezione del numero 2, ogni numero naturale pari sia la somma di due primi. (Il lettore può verificare la correttezza della congettura per alcuni piccoli numeri pari). Il secondo famoso problema chiede se esistono infiniti numeri primi gemelli, cioè coppie di numeri primi che differiscono di 2 (esempi di numeri primi gemelli sono 3 e 5, 5 e 7, 11 e 13, ecc.) Recentemente sono stati fatti importanti progressi su questa congettura.

Forse uno di questi due problemi sarà risolto durante la nostra vita. O almeno prima che noi umani distruggiamo il mondo.

Lo studio dei numeri primi è un tema classico della matematica pura. È la matematica più pura che non ha pretesa di essere utile al di fuori della matematica. Tuttavia, i risultati sui numeri primi si sono rivelati utili nella crittografia dell'era moderna. Si tratta della scienza che si occupa della trasmissione sicura di messaggi dal mittente al destinatario (come ad esempio l'*online banking*). Uno dei primi metodi crittografici veramente efficaci si basa sul cosiddetto Piccolo Teorema di Fermat. Pierre de Fermat (1607-1665) era un avvocato francese che si occupava di matemati-

ca per hobby. Il Piccolo Teorema di Fermat afferma che il numero  $a^p - a$  è divisibile per  $p$  per ogni numero intero  $a$  e per ogni numero primo  $p$ . Immaginiamo un avvocato del XVII secolo, matematico per passione, magari seduto a lume di candela mentre si diverte con considerazioni apparentemente senza scopo sui numeri. E poi, nel XX secolo, una delle sue scoperte viene ampiamente utilizzata in Internet e in altre meraviglie del mondo moderno. Sembra incredibile! Questo non è affatto l'unico esempio di utilizzo della matematica pura nella tecnologia. Basti pensare che i motori di ricerca sul web si basano sui risultati teorici dell'algebra lineare. Tuttavia, ogni medaglia ha due facce. La crittografia è utilizzata anche nell'industria militare. Anche l'accessibilità delle informazioni sul web è un'arma a doppio taglio. La matematica pura può involontariamente portare molto di buono, così come può portare, sempre involontariamente, qualcosa di cattivo.

### Lo sviluppo dell'algebra e l'importanza dei concetti matematici astratti

La matematica si occupa di concetti astratti. Un esempio semplice è il concetto di numero.

Tutti noi ne comprendiamo il significato e quindi lo accettiamo. La maggior parte dei concetti matematici sono molto più difficili da capire e quindi è difficile apprezzarli immediatamente. Possono persino suscitare avversione, perché sembrano troppo lontani dal nostro mondo. Tuttavia, questi concetti sono l'essenza della matematica.

Uno dei campi fondamentali della matematica è l'algebra. Ne tratterò brevemente lo sviluppo storico e attraverso questo cercherò di indicare l'importanza dei concetti matematici astratti.

Fino al XIX secolo, l'algebra significava solo lo studio di equazioni polinomiali di basso grado.

L'equazione lineare  $ax + b = 0$

ha come soluzione  $x = -b/a$

e la soluzione dell'equazione quadratica è, come abbiamo imparato a scuola,

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Questa scoperta era già nota a diverse antiche civiltà. Gli antichi Babilonesi, per esempio, lo sapevano già circa 1700 anni a.C. La loro soluzione era essenzialmente uguale alla nostra, anche se espressa solo attraverso semplici esempi concreti. La soluzione dell'equazione cubica

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

è stata scoperta più di tre millenni dopo, durante il Rinascimento. La chiave è un caso speciale di questa equazione, che ha come soluzione

$$x = \sqrt[3]{\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 - \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 - \left(\frac{p}{3}\right)^3}}$$

L'equazione cubica generale, così come l'equazione quartica generale, possono essere ridotte a questo caso speciale. Ciò è stato scoperto dai matematici italiani nel XVI secolo. La soluzione è documentata nel libro di Gerolamo Cardano intitolato *Ars magna* del 1545. A quei tempi, i matematici non pubblicavano i loro risultati, ma competevano tra loro per ottenere denaro. I risultati del libro di Cardano in realtà non sono suoi. Inoltre, Cardano non mantenne la promessa fatta al matematico Niccolò Fontana Tartaglia di non divulgare i suoi risultati a nessuno. Ma la storia a volte è capricciosa: le formule per risolvere l'equazione cubica e quartica sono oggi intitolate a Cardano.

Va detto che all'epoca di Cardano non esisteva il concetto di numero come lo conosciamo oggi. Né esisteva la notazione simbolica che oggi usiamo per scrivere le equazioni. Tutto era espresso a parole. Oggi presentare i nostri risultati è incomparabilmente più facile. In generale, la notazione simbolica svolge un ruolo estremamente importante in matematica. Tra le altre cose, orienta il nostro modo di pensare. Fa parte della scienza matematica introdurre la notazione che meglio descrive l'essenza del concetto in esame.

Dopo il successo dei matematici italiani, la sfida successiva fu l'equazione quintica:

$$ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f = 0$$

Ci si aspetterebbe che le soluzioni possano essere espresse con una formula simile a quella delle

equazioni di grado inferiore, tranne per il fatto che includerebbero anche una radice quinta. La formula ricercata sarebbe probabilmente solo più complessa e quindi più difficile da scoprire. Ma si è scoperto qualcosa di molto più interessante: la formula non esiste! Le soluzioni esistono, infatti il Teorema fondamentale dell'algebra afferma che ogni equazione polinomiale (di grado almeno 1) ha delle soluzioni (che possono essere complesse, non necessariamente numeri reali). Tuttavia, esse non possono essere espresse con una formula. Questo è stato dimostrato nel 1824 dal matematico norvegese Niels Henrik Abel (1802-1829) (e anche prima dal matematico italiano Paolo Ruffini, ma la sua dimostrazione era incompleta). È stato necessario un salto mentale per accettare la possibilità che la formula non possa esistere. Non è vero che non siamo riusciti a risolvere un problema perché non siamo abbastanza capaci o diligenti. Il problema semplicemente non è risolvibile.

I problemi che noi matematici affrontiamo di solito hanno solo due risposte possibili: "sì" e "no". Ci accontentiamo di una delle due. A volte la risposta "no" è più eccitante perché solleva nuove domande. Per inciso, ricordiamo che Abel inizialmente pensava di aver trovato la formula per la soluzione dell'equazione quintica, ma dopo qualche tempo si rese conto che la sua dimostrazione era sbagliata. Quando noi matematici cerchiamo di risolvere un problema, a volte commettiamo errori e il nostro ragionamento è spesso più intuitivo che razionale. Utilizziamo il ragionamento puramente logico, così caratteristico della matematica, solo quando ci troviamo di fronte ai dettagli delle dimostrazioni.

Come possiamo sapere che non esiste una formula per la soluzione di un'equazione quintica?

Si può rispondere più facilmente descrivendo la scoperta fatta dal matematico francese Evariste Galois (1811-1832) qualche anno dopo Abel. Egli dimostrò che esistono equazioni polinomiali di quinto grado e di grado superiore, le cui soluzioni non sono espresse dai coefficienti dell'equazione (cioè dai numeri  $a, b, c, \dots$ ) mediante addizione, sottrazione, moltiplicazione, divisione

e radici ennesime. Pertanto non può esistere nemmeno la formula che stiamo cercando. Il lavoro di Galois ha posto una pietra miliare nello sviluppo della matematica. Non solo per i risultati, ma soprattutto per il metodo di soluzione.

Galois introdusse il seguente concetto, che lo aiutò a risolvere il problema.

*Definizione.* Sia  $G$  un insieme non vuoto. Supponiamo che per ogni coppia di elementi  $x$  e  $y$  in  $G$  esista un unico elemento  $x * y$  in  $G$  (in questo caso diciamo che  $G$  è dotato dell'operazione binaria  $*$ ). Diciamo che  $G$ , insieme all'operazione binaria  $*$ , è un gruppo se sono soddisfatte le tre condizioni seguenti:

- (i)  $(x * y) * z = x * (y * z)$  per tutti gli  $x, y, z \in G$ ,
- (ii)  $G$  contiene un elemento  $e$  tale che  $e * x = x * e = x$  per tutti gli  $x \in G$ ,
- (iii) per ogni  $x \in G$  esiste un  $x' \in G$  tale che  $x * x' = x' * x = e$ .

(La definizione di Galois era in realtà meno astratta, ma sostanzialmente equivalente a questa).

Questa nozione è difficile da comprendere senza una spiegazione dettagliata. Tuttavia, lo scopo di questo articolo non è l'educazione matematica. Ho scritto la definizione di gruppo in un linguaggio esatto solo per dare un'impressione al lettore. Per comodità, mi limito a due semplici esempi. L'insieme dei numeri reali è un gruppo sotto l'operazione di addizione (cioè,  $x * y$  significa  $x + y$ ). Qui  $e$  è il numero 0 e  $x'$  è uguale a  $-x$ . L'insieme dei numeri reali diversi da 0 è un gruppo sotto l'operazione di moltiplicazione (per esempio  $x * y = x \cdot y$ ). Qui  $e = 1$  e  $x' = 1/x$ . È certamente sorprendente che, per risolvere un problema molto concreto (un'equazione di quinto grado!), Galois abbia introdotto un concetto così astratto. Ancora più sorprendente è l'ulteriore sviluppo della nozione di gruppo. Il lavoro di Galois è stato pubblicato e riconosciuto solo diversi anni dopo la sua morte. Nel corso del tempo, i matematici hanno iniziato a notare che numerosi esempi diversi di gruppi appaiono in diverse aree della matematica. In effetti, i gruppi si incontrano ovunque in matematica e anche in fisica. I matematici hanno quindi iniziato a con-

siderare i gruppi come interessanti di per sé, e non solo come uno strumento per risolvere problemi concreti. Sono stati introdotti alcuni concetti legati ai gruppi, come gli anelli, i campi e gli spazi vettoriali. L'algebra moderna è dedicata allo studio di questi concetti astratti. Sono state sviluppate numerose teorie algebriche che si sono rivelate utili in altre aree della matematica e anche al di fuori di essa. Vorrei citare solo un esempio classico. Fino al XIX secolo, tre famosi problemi geometrici dell'antichità erano aperti. Sono noti come il raddoppio del cubo (è possibile, utilizzando solo riga e compasso, costruire un cubo che abbia il doppio del volume di un cubo dato?), la trisezione di un angolo (è possibile, utilizzando solo riga e compasso, costruire un angolo pari a un terzo di un angolo dato?) e la quadratura del cerchio (è possibile, utilizzando solo riga e compasso, costruire un quadrato che abbia la stessa area di un cerchio dato?). La risposta a tutte e tre le domande è "no" e il modo per arrivarci è attraverso concetti algebrici. Le dimostrazioni non sono nemmeno così complicate. Oggi è difficile capire perché ci sia voluto così tanto tempo per trovare soluzioni a questi problemi. Credo che la ragione risieda nel potere dei concetti matematici astratti, profondi e ben concepiti. Essi ci guidano verso un punto di vista dal quale possiamo vedere come affrontare un problema concreto.

### **Inseguire un'idea**

Il lettore può essere stato colpito dagli anni di nascita e di morte di Abel e Galois. Giovani uomini poco più che ventenni hanno cambiato il corso della storia della matematica. Il motivo della morte prematura di Abel fu una malattia, mentre Galois morì in un duello.

La gioventù è un grande vantaggio in matematica. Ci sono eccezioni, ma la maggior parte dei matematici produce i risultati migliori in età relativamente giovane. Perché? Naturalmente la gioventù ha alcuni vantaggi evidenti, come la freschezza e l'impavidità. D'altra parte, con il passare degli anni si acquisisce esperienza, ma non si perde arguzia. Perché in matematica la co-

noscenza e l'esperienza non sono così essenziali come in molti altri settori? A mio avviso, una delle ragioni più importanti è il modo di lavorare. Per molti aspetti, il lavoro di ricerca di un matematico non è molto faticoso. A differenza delle gare di matematica, non è così importante se si è veloci o meno nel pensare. Non c'è pressione sul tempo, tutto procede lentamente. Quindi sarebbe difficile dire che essere un matematico è stressante. Ma può essere molto frustrante. Quando si affronta un problema, bisogna prima trovare un'idea innovativa. E questo può richiedere tempo... e ancora tempo. Per un lungo periodo non succede nulla. Si gira in tondo. Passano i giorni, le settimane e i mesi. Il risultato: niente! Dopo un po', questo diventa un peso. Il costruttore ha costruito, il fornaio ha sfornato, il guaritore ha guarito, e voi che cosa avete fatto oggi? Niente! Sono utile? Sono ancora in grado di fare qualcosa? L'ultimo risultato decente è alle mie spalle? La ricerca di un'idea innovativa è di solito un'impresa solitaria. Nessuno può farlo per voi. E in matematica non ci sono esperimenti. L'unica cosa che abbiamo è il pensiero. Il matematico porta quindi sempre con sé il suo "laboratorio" e non può spegnerlo nemmeno se volesse. Lunedì mattina o sabato sera? Non importa, solo quando si ha qualcosa in mente. Questo modo di lavorare, anzi di vivere, può essere mentalmente estenuante. È molto più facile da sopportare in giovane età.

E poi, a volte, arriva. Un'idea rivoluzionaria. Così, senza essere invitata. Al mattino, nel cuore della notte, durante una passeggiata, un viaggio in auto, in una sala d'attesa... Come se il suo arrivo non avesse nulla a che fare con i vostri sforzi durati settimane, mesi, a volte persino anni. Per un attimo vi sembra di aver toccato qualcosa che è al di là di voi e al di sopra di voi, quindi non lo meritate. Il costruttore ha costruito la casa, ma la vostra casa è apparsa proprio davanti a voi. Come un dono del cielo. La sensazione di gioia è indescrivibile. Improvvisamente siete il calciatore che ha segnato il gol, vi rotolate sull'erba e tutto lo stadio esulta. Non importa che in quello "stadio" ci sia in realtà una sola persona: voi stessi. Vi è stato regalato un momento di euforia, godetevolo!

L'idea rivoluzionaria è seguita da un periodo felice di perfezionamento delle dimostrazioni, di ricerca di esempi illustrativi e di applicazioni dei risultati principali. Quando ci si sveglia al mattino, si sa esattamente cosa si farà e non si vede l'ora di iniziare la giornata. Alla fine si scrive tutto con cura e il progetto è completo. Quindi si passa a un nuovo problema. Forse ne uscirà qualcosa. Ma forse no...

### La matematica oggi

Come altre scienze, anche la matematica si è molto diversificata nel XX secolo. Cent'anni fa, alcuni matematici avevano una visione d'insieme di tutta la matematica. Oggi non ce ne sono più. Stanno emergendo nuove teorie matematiche per risolvere problemi che un tempo sembravano inaccessibili. Un bellissimo esempio della potenza della matematica moderna è la dimostrazione dell'ultimo teorema di Fermat. È una delle storie matematiche più famose. Lasciate che ve la descriva brevemente.

Sia  $n \geq 2$  un numero naturale. Esistono numeri naturali  $a$ ,  $b$  e  $c$  tali che  $a^n + b^n = c^n$ ?

Per  $n = 2$ , la risposta è ovviamente "sì". Le soluzioni si chiamano terne pitagoriche; un semplice esempio sono i numeri  $a = 3$ ,  $b = 4$  e  $c = 5$ . Pierre de Fermat, che abbiamo già citato in precedenza, nel 1637 scrisse a margine del libro *Arithmetica* di Diofanto di avere scoperto una meravigliosa dimostrazione che per qualsiasi  $n \geq 3$  non esistono tali numeri naturali  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , ma non c'era abbastanza spazio a margine per scriverla. L'affermazione di Fermat divenne nota come Ultimo Teorema di Fermat. Fermat si sbagliava quasi certamente sulla correttezza della sua dimostrazione, anche se ovviamente non sapremo mai la verità. Il problema della verità di questo teorema è rimasto aperto per più di 350 anni. È stato affrontato da molti dei più grandi matematici ed era anche popolare tra i dilettanti di matematica, poiché sembrava che bastasse un lampo di genio per risolverlo. Solo nel 1995, il matematico inglese Andrew Wiles ha pubblicato una dimostrazione completa dell'ultimo teorema di Fermat. Utilizza

vari strumenti matematici moderni, è lunga più di cento pagine ed è pienamente comprensibile solo ai pochi matematici che hanno le conoscenze tecniche necessarie. È interessante che Wiles, che era un matematico di fama, abbia tenuto segreto il suo tentativo di risolvere questo famoso problema. Dopo sei anni di lavoro, annunciò pubblicamente di aver trovato la dimostrazione. Ma poco dopo fu scoperto un errore in uno dei suoi ragionamenti. Il suo mondo fu distrutto... Dopo più di un anno, riuscì a correggere l'errore e gli specialisti del settore confermarono che la dimostrazione è completa. Nel 2016, all'età di sessantatré anni, Wiles è diventato il più giovane destinatario del Premio Abel, il più alto riconoscimento della matematica.

Senza dubbio, la matematica moderna sta ottenendo grandi successi. Tuttavia, permettetemi di concludere con alcune riflessioni critiche. Nel mondo attuale, compreso quello matematico, la competizione è sempre più diffusa. Si compete per progetti, promozioni, riviste, citazioni, conoscenze, collaborazioni... Le abilità sociali giocano oggi un ruolo sempre più importante nella carriera di un matematico. Ho la sensazione che il vero impegno per la matematica non sia così comune oggi come in passato e che la ricerca in matematica sia perseguita da un numero sempre maggiore di persone che non hanno un incentivo intrinseco per farlo. Si possono quindi trovare molti articoli nelle riviste di ricerca che possono essere tecnicamente impegnativi, ma non portano nuove idee e non hanno alcuna bellezza matematica.

Vedo la matematica come una vecchia e dignitosa signora. Così vecchia che cammina molto lentamente. È affascinata solo dalle idee veramente originali e veramente belle. Queste sono rare e non si presentano spesso. Non la impressioneremo con la mentalità del "di più e più veloce", forse penserà addirittura che siamo un po' infantili. Non so cosa pensi di me. Ma so che mi ha dato molto di più di quanto io possa darle in cambio. ●

## Hanno collaborato a questo numero:

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

**Giulio Bernardi** è ricercatore in Neuroscienze Cognitive presso la Scuola IMT Alti Studi di Lucca. Medico di formazione, dottorato in Neuroscienze presso l'Università di Pisa, ha lavorato presso centri di ricerca negli Stati Uniti e in Svizzera. Nel 2020 ha ottenuto un ERC Starting Grant, finanziamento europeo per giovani ricercatori, con lo scopo di esplorare nuove metodiche per la modulazione non invasiva del sonno e dei sogni.

**Matej Brešar** è Professore di matematica presso le Università di Lubiana e di Maribor. Il suo principale campo di ricerca riguarda l'algebra non commutativa e le sue applicazioni. È autore di oltre 170 articoli specialistici e di quattro libri pubblicati da Springer Nature. È membro dell'Accademia Slovena delle Scienze e delle Arti.

**Stefania Capelli**, interessata alla natura e al disegno naturalistico da sempre, è perito agrario. Fa parte del Gruppo Ricerche Avifauna e del Centro Studi Naturalistici del Museo di Scienze Naturali di Brescia. È guida naturalistica con lunga esperienza sul campo e svolge attività di divulgazione, collaborando con vari enti pubblici tra i quali la Riserva Naturale delle Torbiere del Sebino. Ha scritto vari articoli su "AB Atlante Bresciano", la rivista di Grafo edizioni che tratta in particolare paesaggi e culture del territorio bresciano.

**Emanuela Fanelli**, biologa marina, Professore Associato di Ecologia, docente di Ecologia e di Biologia della Pesca presso Università Politecnica delle Marche e Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Biologia Marina, rappresentante supplente per la Camera dei Deputati presso l'Assemblea della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO.

**Andrea Fantini**, economista, già responsabile del Laboratorio di Economia e Marketing Agroalimentare presso la Facoltà di Bioscienze e Tecnologie agro-alimentari e ambientali dell'Università di Teramo. Già coordinatore del Master GESLOPAN (Gestione dello Sviluppo Sostenibile nei Parchi e nelle Aree Naturali). Presidente dell'APS Portonovo per Tutti, membro del Comitato Mezzavalle Libera e del Comitato Insieme per l'Area Marina Protetta del Conero.

**Giorgio Ferrari** è un fisico nucleare. È stato ricercatore sulla nave oceanografica Bannock del CNR. Nel 1967 è entrato all'Enel dividendosi responsabile della fabbricazione del combustibile per tutte le centrali nucleari dell'Enel, mansione che mantenne fino al 1987 quando, dopo l'incidente di Chernobyl, fece obiezione di coscienza. Stretto collaboratore di Dario Paccino, riedita insieme a lui la rivista *Rossovivo* e, nel 1977, è tra i fondatori di *Radio Ondarossa*.

**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.

**Iole Leonori**, ricercatrice presso l'Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine del CNR di Ancona. Esperta in Acustica Marina, ingegnere elettronico. Svolge

studi sull'ecosistema pelagico per il monitoraggio dei piccoli pelagici nel mare Adriatico e del krill nell'AMP del mare di Ross, Antartide. Svolge inoltre ricerche di acustica passiva per la stima del rumore sottomarino e il monitoraggio acustico e visuale dei mammiferi marini.

**Marco Mastrorilli**, ornitologo e fotografo naturalista, specializzato nella ricerca e studio dei rapaci notturni, da anni si occupa di salvaguardia di questi uccelli, oltre che di divulgazione. Partecipa come relatore a convegni scientifici in Italia e in Europa, in corsi specialistici e anche a moltissime conferenze e proiezioni. Partecipa alla realizzazione di diverse pubblicazioni e libri in Italia ed all'estero.

**Fantina Matricardo**, laureata in Fisica all'Università di Padova, dottorato di ricerca in Fisica all'Università di Amburgo, Post-Doc all'Université P. et M. Curie, Parigi. È ricercatrice presso il CNR-ISMAR di Venezia dal 2012. Principali argomenti di ricerca sono la geofisica applicata e l'acustica sottomarina attiva e passiva. Si interessa allo sviluppo di metodi di analisi dei dati acustici per lo studio delle morfologie del fondo marino, per la mappatura degli habitat bentonici e dell'impronta dell'uomo sul fondo e per lo studio dei paesaggi sonori sottomarini.

**Alessandro Montanari** è direttore dell'Osservatorio Geologico di Coldigioco (MC), un centro di studi privato fondato nel 1992 a seguito di una straordinaria esperienza come ricercatore all'Università di Berkeley accanto a Walter Alvarez e come professore a contratto per varie università statunitensi ed europee. Rientrato in Italia, ha collaborato con membri della Federazione Speleologica Marchigiana e con ricercatori di varie università statunitensi ed europee in progetti di ricerca sulla biospeleologia e la neotettonica del complesso carsico di Frasassi.

**Gaia Pignocchi**, archeologa con principale indirizzo pre-protostorico, ha svolto collaborazioni scientifiche nel settore dei Beni Archeologici con Enti pubblici, Musei e Università e ha partecipato a numerose campagne di scavo di siti archeologici, dalla preistoria all'età medievale. Dal 1997 al 2000 ha svolto l'incarico di docente a contratto di Preistoria e Protostoria presso l'Università di Macerata.

**Emilio Santoro** è un fisico nucleare che ha lavorato presso l'ENEA Casaccia fino all'ottobre del 2018. È stato Dirigente di Ricerca e Direttore Responsabile del Reattore Nucleare di Ricerca TRIGA da 1 MW del medesimo Centro di Ricerca. È autore di articoli scientifici tecnici su riviste nazionali e internazionali e anche di lavori a carattere divulgativo. Presta il suo servizio presso l'Enea come consulente. Da quasi vent'anni, è docente del corso: "Sicurezza nucleare. Aspetti tecnici e legislativi" presso la Scuola di Specializzazione in Fisica Medica dell'Università Tor Vergata di Roma.

**Gilberto Stacchiotti** è tra i fondatori nel 1980 del circolo naturalistico *Il pungitopo* di Ancona, aderente a Legambiente. Nel 2006 è stato nominato rappresentante delle associazioni ambientaliste nell'Ente Parco del Conero, ruolo che ha ricoperto fino alla sua nomina a Presidente del medesimo Ente nel 2017. Autore della pubblicazione *Conero bellezza infinita*. Curiosità, immagini e meraviglie del Conero sono divulgate nel suo profilo social FB.

**Lucia Stelli**, laureata in Scienze Biologiche, è stata docente di Matematica e Scienze nella Scuola Secondaria di primo grado. Fa parte del Gruppo di Ricerca e Sperimentazione in Didattica della Matematica presso l'Università di Pisa ed è esperto didattico-scientifico del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

