



ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Un mare di plastica

di **Tiziana Moriconi**

- Con Infografica
Quanta plastica c'è nel mare?
di **Laura Pulici**
- Con scheda didattica
di **Giulia Realdon**

2

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

I segreti del sonno

di **Donato Ramani**

9

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Piccoli fossili marini per studiare il clima che cambia

di **Katia Carbonara** e **Valentina Murelli**

- Con scheda didattica
di **Antonio Varaldo**

13

STORIA DI SCIENZE

Gomma verde dal deserto

di **Vincenzo Guarnieri**

- Con scheda didattica
di **Antonio Varaldo**

18

STORIA DI SCIENZE

Hamilton e quaternioni: una rivoluzione in algebra

di **Giovanna Guidoni**

24

SEGNALAZIONI

Scienza da non perdere

di **Valentina Murelli**

28

Un mare di plastica

di **Tiziana Moriconi**

Bottiglie, fibre sintetiche, reti da pesca, giocattoli e oggetti per la casa, perfino componenti di cosmetici e creme per la pelle. La plastica - anche nella sua versione micro - è davvero ovunque, e quando non la usiamo più, spesso finisce in mare, costituendo una grave forma di inquinamento e una delle peggiori minacce all'equilibrio degli ecosistemi.



Immense isole di plastica galleggiano nell'oceano Pacifico

It's a styrofoam deep sea landfill ("c'è una discarica di polistirolo in alto mare"), canta Damon Albarn in Plastic Beach, successo del gruppo musicale dei Gorillaz che dà il titolo al loro penultimo album, uscito ormai da qualche anno. Non c'è alcun intento o messaggio ambientalista, ma il riferimento è proprio ai detriti di plastica dispersi nell'Oceano Pacifico che, trascinati dalle correnti e per un gioco di vortici, si radunano a

formare immense isole galleggianti. C'è "un'allusione all'ambiente un po' confusa che permea ogni bit di questo disco", raccontava il cantante in un'intervista a Wired Usa nel 2010, all'indomani dell'uscita dell'album. Certo, le vere isole di plastica non hanno molto a che vedere con l'immagine pop della copertina del cd: sono piuttosto gigantesche chiazze formate da vari tipi di rifiuti, da reti da pesca e da miriadi

Le ostriche di
mare ingeriscono
considerevoli quantità
di microplastica



di piccoli pezzi di vari oggetti, come bottiglie, spazzolini da denti, scarpe, corde. Va anche detto che la plastica è dispersa un po' ovunque nel mare da molto tempo: già nel 1997, secondo le stime rappresentava tra il 60 e l'80 per cento di tutti i detriti. Che la situazione da allora non sia migliorata lo dicono i dati. È molto difficile (se non impossibile) calcolare quanta plastica vi sia nelle nostre acque, dalla superficie ai fondali più profondi, ma sappiamo che la produzione di materie plastiche nel mondo è in costante aumento: solo nel 2014 ne sono stati prodotti 311 milioni di tonnellate, quasi cento in più rispetto al 2004 (dati [Plastics Europe link.pearson.it/9AD8627C](http://PlasticsEurope.link.pearson.it/9AD8627C)). Anche la percentuale di plastica riciclata è aumentata, ma non abbastanza e non ovunque.

PICCOLO È PEGGIO

Oggi la plastica, e in particolare la microplastica – cioè i frammenti più piccoli di 5 millimetri di diametro – è considerata una delle principali forme di inquinamento e tra le tre più gravi minacce per gli ecosistemi marini, insieme alle nuove classi di composti chimici (farmaci e antibiotici, mangimi per animali, trattamenti per imbarcazioni) e alla presenza di specie non autoctone, cioè originarie di altri luoghi. Solo da poco, però, si è preso coscienza del “problema microplastiche”. Il primo articolo scientifico sull'argomento è apparso su *Science* nel 2004 (link.pearson.it/EDDF52EA): descriveva microscopici frammenti di polimeri sintetici

presenti nella maggior parte dei campioni di acqua e di sedimenti prelevati nella baia di Plymouth, nel sud del Regno Unito. Richard Thompson, ricercatore presso l'università della città, aveva identificato nove tipi di polimeri usati in molti ambiti diversi, in particolare per i vestiti (le fibre acriliche) e per gli imballaggi, suggerendo che questi frammenti fossero il risultato della disgregazione di oggetti più grandi. Aveva poi esteso i campionamenti ad altre zone e spiagge, trovando sempre le microplastiche. Si trattava soprattutto di fibre dal diametro inferiore ai 20 micrometri e dai colori brillanti. Non solo: Thompson aveva anche dimostrato che tre diverse specie di animali marini – i piccoli crostacei anfipodi (*detritivori*) e cirripedi (*filtratori*) e i vermi anellidi del genere *arenicola* (che si cibano di depositi organici) – ingeriscono le microplastiche.

IL PLANCTON DI PLASTICA

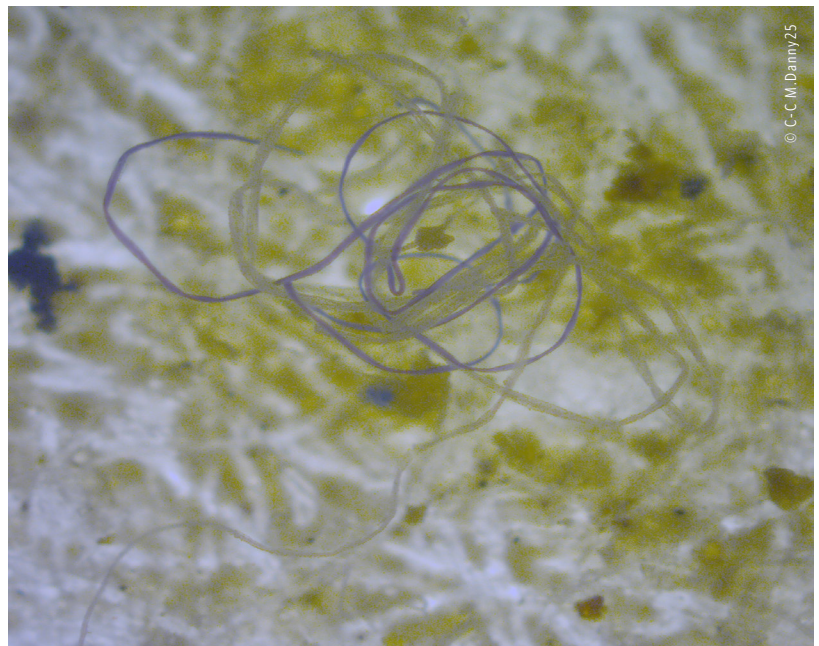
«Noi scienziati lo chiamiamo il plancton di plastica proprio perché gli organismi più grandi lo confondono con le loro piccole prede», spiega Paola Del Negro, direttore della Sezione di Oceanografia dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste. «Non conosciamo ancora bene gli effetti dell'ingestione delle microplastiche su tutta la rete trofica, dai minuscoli animali fino agli uccelli e ai grandi mammiferi, per arrivare agli esseri umani, ma di certo ci sono diversi rischi potenziali per gli ecosistemi. Sappiamo,

per esempio, che i piccoli pezzi di plastica sono un ottimo substrato per i batteri, compresi quelli patogeni per l'uomo che provengono dalle nostre fognature. Le acque reflue subiscono trattamenti che uccidono questi batteri, che in ogni caso non sopravvivrebbero più di qualche giorno in mare. Il discorso, però, cambia in presenza delle microplastiche, che li proteggono e li trasportano, aumentando areali e tempi di diffusione. Un altro pericolo è rappresentato da sostanze dannose come insetticidi e pesticidi che si possono accumulare nelle microplastiche stesse per essere poi rilasciate.»

Arnaud Huvet dell'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) di Plouzané, in Bretagna, ha indagato per la prima volta gli effetti di questo inquinamento sulle ostriche del Pacifico. I risultati mostrano che gli animali che vivono in acque inquinate producono uova e spermatozoi di qualità inferiore e circa il 40% in meno di piccoli rispetto al gruppo di ostriche di controllo, allevate senza la microplastica (link.pearson.it/6316BA23).

SE 268 MILA TONNELLATE VI SEMBRAN POCHE

Studi più recenti hanno confermato che la microplastica c'è ovunque la si cerchi: dai Poli (è stata trovata anche nei ghiacci artici) ai circuiti oceanici, in tutta la colonna d'acqua, nei sedimenti costieri e sui fondali, che sembrano essere i principali siti di stoccaggio. Nel 2014, sempre su Science, Thompson tornava a fare il punto sulla situazione, a distanza di 10 anni dal primo studio (link.pearson.it/8D18DB0F). Modelli oceanografici e osservazioni ambientali riportavano concentrazioni molto variabili, che superavano i dieci milioni di frammenti



Fibre di microplastica identificate in ambiente marino

per chilometro quadro di acqua nei circuiti subtropicali e nel Mediterraneo. Più in generale, nello stesso anno, uno studio apparso su PLoS ONE aveva provato a fare una stima delle quantità di plastica (macro e micro) e a tracciarne una mappa: parlava di oltre 268 mila tonnellate disperse in tutto, di cui 23,2 mila nel Mare Nostrum (link.pearson.it/FA1FEB99).

ZUPPA SINTETICA

Ma come si è creata questa zuppa sintetica? La risposta sta nelle caratteristiche dei polimeri di cui sono fatte le materie plastiche, che hanno un lungo ciclo di vita e sono leggeri, facilmente trasportabili dal vento e dai fiumi. Le microplastiche sono in parte il prodotto della disgregazione chimica e fisica dei rifiuti non riciclati, e in parte sono già presenti sul mercato



Lo sversamento occasionale di petrolio non ha ancora trovato una soluzione

TUTELA DEL MARE: A CHE PUNTO SIAMO?

Nel 2008, il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea hanno emanato la Strategia Marina, una direttiva quadro recepita in Italia nel 2010 che chiede agli Stati UE di raggiungere il "buono stato ambientale" entro il 2020, fissando specifici obiettivi di controllo e tutela. Per la prima volta, viene messo al centro il funzionamento degli ecosistemi marini e non soltanto le ricadute dell'inquinamento sull'essere umano. «Oggi vige una sorveglianza molto stretta e rigorosa sulla maggior parte degli inquinanti noti, come i metalli pesanti, la diossina e gli idrocarburi policiclici aromatici», sottolinea l'oceanografa Paola Del Negro. «Grazie alle nuove normative, anche l'eutrofizzazione delle acque non è più un problema così grande. Le prossime sfide riguardano gli sversamenti occasionali di petrolio grezzo che, se di modesta entità, può essere confinato e rimosso, e soprattutto l'inquinamento da farmaci e composti chimici di nuova generazione. Un altro problema di cui si parla poco è l'introduzione di nuove specie legata sia ai fenomeni di tropicalizzazione sia al grande incremento dei traffici marittimi. Per motivi di bilanciamento dei pesi, infatti, le navi possono caricare in un punto acqua di mare - con tutto quello che contiene - e rilasciarla in aree molto distanti. Manca ancora una cultura di protezione e prevenzione degli habitat marini. Si pensa che la resilienza del mare superi qualsiasi cosa, ma non è così.»

sotto forma micro: sono, per esempio, i granelli presenti nelle creme esfolianti e nei detersivi. Queste particelle non vengono fermate dai sistemi di filtraggio delle acque, e arrivano nei fiumi e quindi in mare. Motivo per cui nel 2015, il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) ha chiesto di considerare la loro messa al bando all'interno dei prodotti cosmetici (link.pearson.it/14118AB5).

Ciò che possiamo dire con certezza ad oggi è che ne sappiamo davvero poco di questo problema: non ne conosciamo la portata, né gli effetti su larga scala, né abbiamo una soluzione, se non quella di limitare il danno, per esempio aumentando la percentuale di plastica riciclata e cercando di controllare il rilascio di reti da pesca in mare. Come ha ricordato lo scorso maggio una risoluzione dell'UNEP, sappiamo che c'è "bisogno di una risposta globale urgente"

(link.pearson.it/8A751F16). ●

PAROLE CHIAVE

ACQUE REFLUE

Acque di scarico di attività domestiche, agricole e industriali.

EUTROFIZZAZIONE

Inquinamento dovuto alla presenza eccessiva di nutrienti, in particolare sali di azoto e fosforo, derivanti dagli scarichi in mare e dall'uso di fertilizzanti in agricoltura. Questi nutrienti causano un'incontrollata crescita di alghe con conseguente impoverimento di ossigeno sul fondo.

CIRCUITO OCEANICO

Vasto sistema di correnti oceaniche superficiali che si muovono con movimento circolare.

RESILIENZA

Capacità di un sistema di adattarsi al cambiamento, cioè di tornare al suo stato iniziale dopo essere stato sottoposto a una perturbazione che lo ha modificato.

RETE TROFICA

Rete alimentare.

PER APPROFONDIRE

- Wright S.L. et al., *The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review*, in *Environ Pollut*, 2013, vol. 178, pp. 483-92. link.pearson.it/FD722F80
- Marine Debris Program, *sito web del progetto sui rifiuti inquinanti in mare del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) statunitense*. link.pearson.it/647B7E3A
- Plastic Paradise, *documentario (da acquistare) sulla grande isola di rifiuti del Pacifico*. link.pearson.it/137C4EAC
- Gambi M.C., *Il clima cambia, il mare pure*, in *Science Magazine* n. 13. link.pearson.it/83C3533D
- *Salvare l'oceano dalla plastica, l'idea geniale di un ventenne olandese*, *repubblica.it*, 12 settembre 2016. link.pearson.it/F4C463AB

Tiziana Moriconi

giornalista scientifica, collabora con Galileo, Le Scienze, D la Repubblica online, Wired.it.

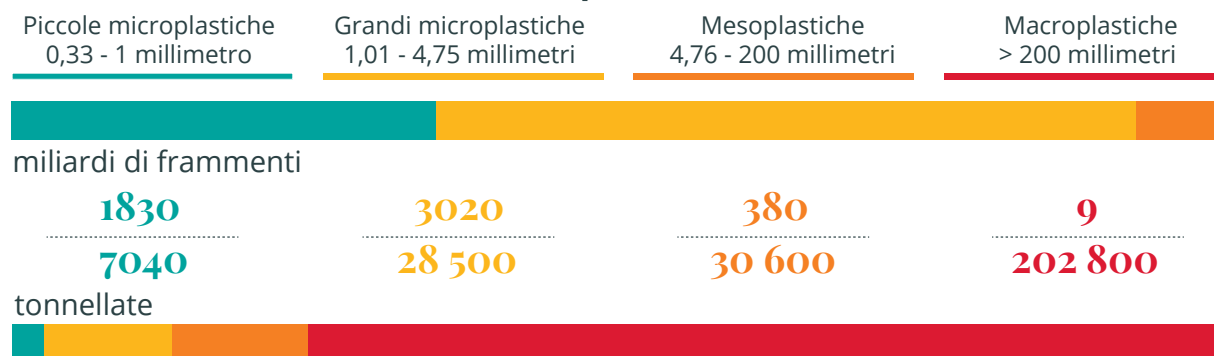


Quanta plastica c'è nel mare?

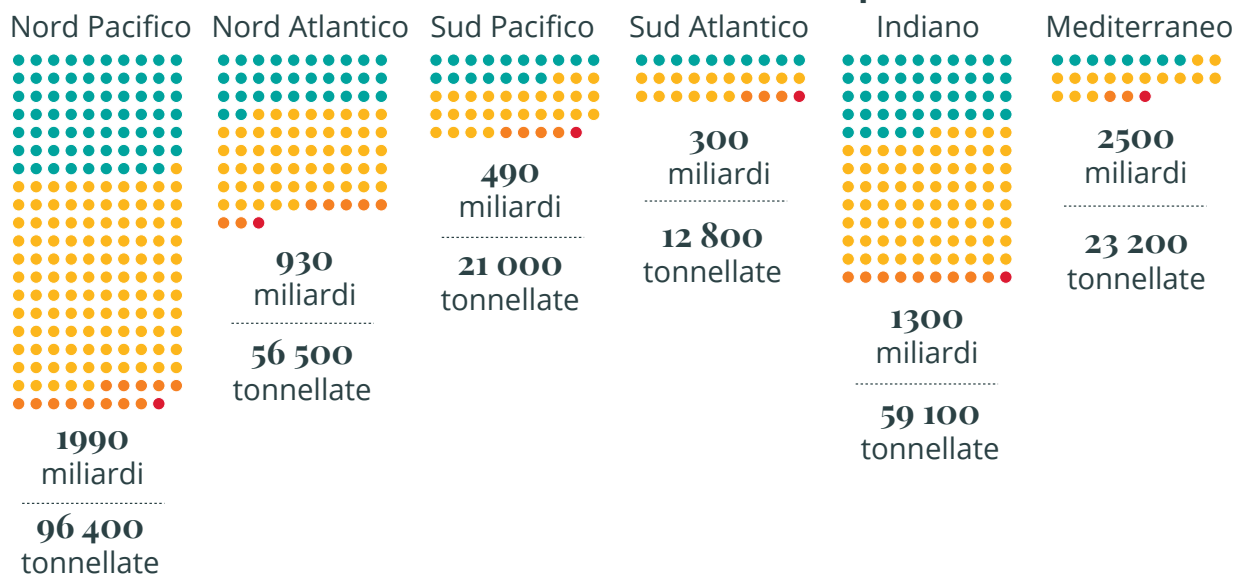
di **Laura Pulici**

Oggi la plastica, e in particolare la microplastica – cioè i frammenti più piccoli di 5 millimetri di diametro – è considerata una delle principali forme di inquinamento e tra le tre più gravi minacce per gli ecosistemi marini.

Oltre 5000 miliardi di frammenti, più di 268 000 tonnellate



Dove si trova: il Pacifico settentrionale è l'oceano più ricco



Che cos'è: reti e altre attrezzature da pesca rappresentano buona parte delle macroplastiche



Fonte: Eriksen, M. et al. PLoS ONE 9, e111913 (2014)

Scheda Didattica / Un'immensa zuppa di plastica

di **Giulia Realdon**

DALL'ARTICO ALL'AULA, ALLA SCOPERTA DELLE MICROPLASTICHE



Le microplastiche raggiungono anche le acque delle isole Svalbard, nel mar Glaciale Artico

Nonostante la lunga esperienza da insegnante di scienze naturali, ho sentito parlare di microplastiche solo nel 2014 quando, per un progetto di ricerca, mi trovavo a bordo della nave oceanografica G.O.Sars a sud-ovest delle isole Svalbard. Lì ho conosciuto due giovani ricercatrici impegnate a filtrare acqua marina per raccogliere questi piccolissimi materiali.

Amy Lusher, responsabile della ricerca presso il Galway-Mayo Institute of Technology (Irlanda), mi ha spiegato che si trattava di frammenti e fibre di vari polimeri di dimensioni inferiori a 5 mm.

Le microplastiche, provenienti dalla frammentazione di oggetti più grandi o prodotte all'origine come microsferi, non sono trattenute dagli impianti di trattamento delle acque reflue e finiscono per inquinare il mare e molti altri ambienti di tutto il mondo, perfino nelle aree polari. Quando sono andata a caccia di informazioni in rete, ho scoperto che il tema era relativamente recente anche per la scienza e ancora non diffuso nelle attività didattiche, almeno in Italia: spesso, infatti, si sente parlare delle "isole di plastica" degli oceani, ma molto meno delle microplastiche, un problema ambientale emergente, forse ancora più grave.

Condivisa la novità con alcune docenti dell'associazione Scienza under 18 Isontina (link.pearson.it/A63588CC), abbiamo elaborato una serie di attività di laboratorio sulle microplastiche per diversi livelli scolastici da realizzare senza attrezzature specifiche: quelle che seguono sono le proposte per gli studenti delle scuole secondarie (età 11-16).

PRIMA ATTIVITÀ - PLASTICA NASCOSTA: A CACCIA DI MICROPLASTICHE

MATERIALI OCCORRENTI

- Campioni di sabbia provenienti da una spiaggia a scelta e contenenti rifiuti plastici e di altra natura (è comune trovarli pressoché in tutte le spiagge: sia oggetti interi che frammenti);
- alcuni prodotti cosmetici e per la cura personale contenenti microsferi (creme e bagno-schiuma esfolianti, paste lava-mani, alcuni tipi di smalto. Si riconoscono dalla composizione: se c'è scritto polietilene significa che contengono microsferi);
- lenti di ingrandimento;
- carta da cucina;
- bicchieri di plastica trasparenti e cucchiai di plastica;
- acqua di rubinetto;

- detersivo per stoviglie;
- sale;
- fogli di acetato o di plastica scura;
- schede di lavoro.

PROCEDIMENTO

1. Per prima cosa far osservare agli studenti i campioni di sabbia ad occhio nudo e con la lente d'ingrandimento e chiedere loro che cosa osservano e di ipotizzare da dove, secondo loro, provengono i frammenti.
2. Discutere con gli studenti sull'importanza della raccolta differenziata e del riuso e riciclaggio degli oggetti di plastica.
3. A questo punto passare al lavoro sulle microplastiche primarie, cioè le microsferi. Fornire agli studenti (o chiedere loro di cercarle in rete) qualche informazione su questi

Scheda Didattica / Un'immensa zuppa di plastica

di **Giulia Realdon**

materiali. Che cosa sono? (Particelle solide di dimensione quasi sempre inferiore a 1 mm, in genere di polietilene – ma a volte di altre materie plastiche – usate in prodotti per uso personale, industriale o per la ricerca biomedica.) Dove si possono trovare? (Soprattutto in cosmetici e prodotti per la cura personale: *scrub*, creme e bagni schiuma esfolianti, prodotti per decorare le unghie, paste lava-mani.)

4. Dare agli studenti qualche campione di prodotti contenenti microsferi da osservare con attenzione e chiedere loro di: leggere la composizione dei prodotti; esaminare con la vista e con il tatto una piccola quantità di campione spalmata su una mano; osservare con la lente o un microscopio a basso ingrandimento una piccola quantità di prodotto sparsa su un foglio di acetato. L'obiettivo è descrivere colore, dimensione, quantità di microsferi nel prodotto.

5. Dare agli studenti 3 bicchieri di plastica trasparenti, cucchiai, acqua, detersivo per stoviglie e sale. Chiedere di provare la galleggibilità delle microsferi in acqua, acqua + detersivo (1/2 cucchiaino per bicchiere) e acqua + sale (1/2 cucchiaino per bicchiere). Il detersivo permette di separare le microsferi dal prodotto e di osservarle individualmente. La maggior parte delle microsferi galleggia, ma alcune affondano o si distribuiscono nella colonna d'acqua. Alcune microsferi affondano in acqua dolce e galleggiano in acqua salata. A questo punto, chiedere di ipotizzare se le microsferi galleggiano o affondano in acqua dolce, come quella di un lago, e in acqua marina. In base alle osservazioni si può ipotizzare il comportamento delle microsferi in ambiente naturale, anche se il modello è una semplificazione della realtà, in cui possono intervenire altri fattori. In ogni caso si può discutere sul destino delle microsferi (adsorbimento di sostanze chimiche alla superficie, ingestione da parte di organismi del plancton e del bentos).

PER CONCLUDERE

Chiedere agli studenti di trovare informazioni in rete a proposito del dibattito in corso sull'inquinamento da microplastiche e sulle azioni intraprese dai governi e dalle aziende per limitare/bandire l'uso delle microsferi nei prodotti commerciali.

SECONDA ATTIVITÀ - QUANTE MICROPLASTICHE PRIMARIE STIAMO VERSANDO IN MARE?

MATERIALI OCCORRENTI

A parte i campioni di sabbia, gli stessi materiali della prima attività, più:

- misurini a cucchiaino – come quelli degli sciroppi per la tosse del volume di 5 ml;
- filtri per caffè all'americana o imbuto da cucina;
- carta da cucina;
- poster *Micro-beads face to fish*. Il file si trova all'indirizzo link.pearson.it/D132B85A

PROCEDIMENTO

Chiedere agli studenti di:

1. misurare 5 ml di un prodotto contenente microsferi e scioglierlo in un bicchiere riempito a metà con acqua un po' calda + 1 cucchiaino di detersivo per stoviglie;
2. mescolare per qualche minuto;
3. filtrare con il filtro per caffè o con un imbuto foderato di carta da cucina;
4. raccogliere le microsferi lavate e metterle su un foglio di acetato;
5. contarle con l'aiuto di una lente;
6. fare una proporzione per calcolare quante microsferi sono contenute in una confezione di prodotto;
7. effettuare una stima di quante confezioni di prodotto possono essere usate da una persona in un anno e di quante persone possono usare il prodotto nella propria città. Partendo da queste informazioni, calcolare quante microsferi possono arrivare dalla città al sistema fognario (e quindi in mare) in un anno.

PER CONCLUDERE

Mostrare agli studenti il poster *Micro-beads face to fish* e discutere il problema delle microsferi nei cosmetici e prodotti per la cura della persona.

Giulia Realdon

ha studiato biologia e comunicazione delle scienze, ha insegnato scienze naturali e ora è dottoranda in "Teaching Earth Sciences". Organizza eventi di comunicazione delle scienze per le scuole, scrive di educazione scientifica e collabora con la rivista Science in School.



I segreti del sonno

di **Donato Ramani**

Dormiamo per circa un terzo della nostra vita: un tempo lunghissimo, giustificato dal fatto che il sonno svolge diverse funzioni fondamentali per il buon funzionamento dell'organismo. Vediamo quali sono e come avviene questo misterioso viaggio che dobbiamo compiere ogni giorno.



Abbandonarsi al sonno è come affrontare ogni volta un viaggio solitario

È un viaggio in un territorio segreto che ognuno di noi deve compiere ogni giorno, per tutta la vita. Un percorso fatto in solitudine, in una zona densa e profonda, che ha ispirato da sempre artisti, filosofi e scrittori alle prese con le sue infinite suggestioni – il sogno, l'incubo, l'abbandono della coscienza – ma anche gli scienziati. Intenti a scoprire cos'è il sonno e perché la natura abbia deciso di farci dormire per circa un terzo della

nostra vita. Tradotto in anni? Un uomo di 30 ne ha passati ben 10 addormentato, uno di 80, più di 25. Un tempo enorme, in cui il nostro corpo giace inerte e, apparentemente, improduttivo: «Se il sonno non fosse una funzione assolutamente vitale, allora sarebbe il più grande errore mai commesso dall'evoluzione» disse alla fine degli anni Settanta Allan Rechtschaffen, uno tra i pionieri della ricerca in questo campo.

PRIMO: PER IMPARARE E RICORDARE MEGLIO

Negli ultimi 20 anni, la scienza ha elaborato varie teorie e ricerche volte a trovare la ragione per la quale, a costo della nostra salute, e in casi estremi, della nostra vita, quotidianamente dobbiamo fare le nostre immaginarie valigie, piene delle nostre avventure della giornata, e attraversare quel misterioso confine che separa la veglia dal sonno. «Ciò che è stato chiarito fino a oggi è che alla domanda *Perché dormiamo?* non esiste una sola risposta» spiega Carolina Lombardi, medico e responsabile del Servizio di Medicina del Sonno dell'Istituto Auxologico Italiano. «Gli effetti del sonno coinvolgono infatti molte diverse funzioni del nostro organismo: prima di tutto, a livello del sistema nervoso centrale il sonno serve a facilitare l'apprendimento e consolidare i ricordi.» Molti studi testimoniano che il sonno permette di selezionare i ricordi più importanti, rafforzarli, analizzarli e integrarli per un successivo utilizzo una volta svegli. Una ricerca del 2013 svolta presso l'Università di Rochester, negli Usa, ha inoltre dimostrato che mentre dormiamo lo spazio tra le cellule del cervello aumenta. Questo garantirebbe un miglior flusso del fluido cerebrospinale tra il cervello stesso e il midollo, favorendo così l'allontanamento di molecole potenzialmente tossiche dalle aree intercellulari.

BUONO PER IL CUORE, LE DIFESE IMMUNITARIE E... IL PESO FORMA

Ma c'è dell'altro. Racconta Carolina Lombardi: «Dormire è importante anche per il benessere dell'apparato cardiovascolare – un cattivo sonno aumenta il rischio di patologie come l'infarto – del sistema immunitario e della produzione di ormoni». Per quanto riguarda il sistema immunitario, diversi studi hanno evidenziato che la sua efficienza è direttamente influenzata dalla qualità e dalla durata del nostro sonno. In esperimenti effettuati su volontari, una notte in bianco si è dimostrata sufficiente per apprezzare una variazione, in difetto, nel suo funzionamento. Dal punto di vista ormonale, invece, altre ricerche hanno documentato che due sole notti di sonno insufficiente bastano a creare uno squilibrio a carico di ormoni come grelina, stimolante dell'appetito, che risulta aumentata di un terzo, e leptina, sostanza che invece agisce come inibitore della fame, il cui livello diminuisce. Nei soggetti analizzati, l'appetito aumentava in media del 23%. Queste e altre evidenze sembrerebbero confermare come dormire poco si possa tradurre in un aumento del peso corporeo. È tutto? Niente affatto. Potrebbe esserci infatti anche



Dormire per essere in forma e rafforzare i ricordi

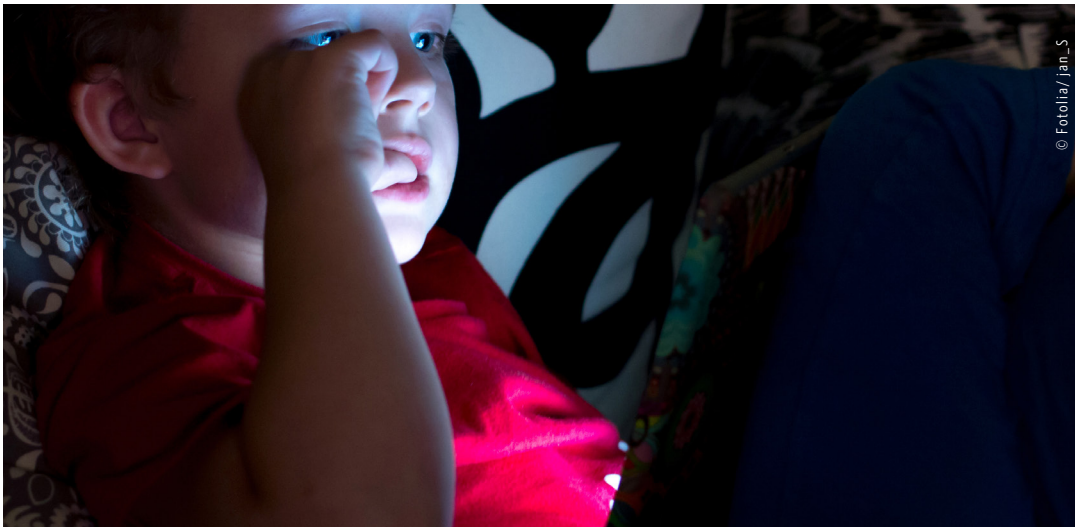
una relazione tra una scarsa quantità e qualità del sonno e la possibile insorgenza di patologie come il diabete di tipo 2, la depressione e altri disturbi psichiatrici.

UN PROCESSO CICLICO

Dormire, insomma, è un affare serio che coinvolge tutto il nostro organismo. Vale la pena, perciò, cercare di capire in cosa consista esattamente questo processo dal punto di vista fisiologico. Spiega Lombardi: «Il sonno non è un processo omogeneo ma anzi, è fatto di cicli che durano, in media, 90 minuti. In questi cicli si avvicendano due stati distinti. Il primo è detto NREM (Non-Rapid Eye Movement) ed è diviso a sua volta in tre fasi successive – N1, N2 e N3 – in cui si passa da uno stato di sonno leggero a uno più profondo con un rallentamento dell'attività elettrica del cervello, una riduzione

MALATTIE DEL SONNO

I disturbi relativi al sonno sono tanti e più comuni di quanto si possa pensare. L'insonnia, che consiste nell'incapacità di addormentarsi o di conservare un riposo continuativo oppure in un risveglio prematuro, è il più noto. Ma ne esistono altri, come la sindrome delle apnee ostruttive nel sonno, caratterizzata da un'ostruzione delle alte vie aeree che si ripete più volte durante il riposo. Favorita da un peso corporeo eccessivo, sempre associata a russamento e più comune nei maschi, questa condizione si presenta di solito al di sopra dei 30 anni e porta a problemi a breve termine ma anche sulla lunga distanza, soprattutto a carico del sistema cardiovascolare. Ricordiamo anche la narcolessia, malattia neurologica rara che si manifesta con crisi caratterizzate da un profondo e irresistibile bisogno di dormire accompagnate talora a manifestazioni come la perdita improvvisa del tono muscolare o le allucinazioni. La causa? Sta nella mancata azione di una sostanza chiamata orexina, che fa parte del "sistema attivatore ascendente", deputato a mantenere il nostro cervello nella fase di veglia. Un caso a parte è rappresentato dall'insonnia familiare fatale (IFF): rarissima ed ereditaria, questa patologia si presenta come una progressiva perdita della capacità di dormire associata ad altri sintomi (delirio, allucinazioni, demenza) di gravità crescente fino alla morte in un tempo che va dai pochi mesi a tre anni. L'IFF è una malattia causata da prioni, gli stessi agenti responsabili del morbo della mucca pazza. Al momento, purtroppo è senza cura.



Oggi dormiamo meno e peggio anche per effetto dell'alterazione artificiale di luce e buio

della pressione arteriosa, del battito cardiaco e della frequenza del respiro. Il secondo stato è detto REM (Rapid Eye Movement) e, per quanto riguarda l'attività cerebrale, per diversi aspetti è molto simile alla veglia». Nella fase REM produciamo la maggior parte dei sogni, si attivano le aree sensoriali e motorie del cervello con un pattern paragonabile a quello che si registra quando siamo svegli, viene perso il tono muscolare e i nostri occhi, sotto le palpebre, si muovono rapidi. Il passaggio da REM a NREM sembra essere controllato dall'azione alternata di diversi gruppi di neuroni: quelli colinergici, che si attivano al massimo nello stato REM, e quelli noradrenergici (che producono la noradrenalina) e serotonergici (produttori della serotonina) che invece favoriscono lo stato NREM.

UN RAFFINATO LAVORO D'ORCHESTRA

Anche l'alternarsi del ciclo sonno-veglia è frutto di un delicato equilibrio tra diversi meccanismi che "lavorano come in un'orchestra" spiega Lombardi. «Tra questi, un ruolo molto importante lo giocano i ritmi circadiani, ossia le fluttuazioni della temperatura corporea, dei livelli ormonali e di altri parametri fisiologici che avvengono nelle 24 ore sotto la guida di una sorta di orologio biologico che si trova nel cervello.» Negli esseri umani questo orologio si trova nell'ipotalamo, ha il nome di "nucleo soprachiasmatico" ed è sincronizzato con i fattori ambientali, in particolare l'alternanza di luce e buio, e con le abitudini dell'individuo. «Un altro meccanismo importantissimo – continua Lombardi – è quello omeostatico, che è semplicemente la nostra necessità di dormire: più ore stiamo svegli, più questo bisogno crescerà.» Durante la veglia, a tenerci vigili e attivi contribuisce un nutrito numero di sostanze tra le quali l'istamina, la dopamina,

l'acetilcolina e la norepinefrina, tutte facenti parte del cosiddetto sistema attivatore ascendente. Come è facile capire, per iniziare e mantenere il sonno l'azione di tutte queste sostanze si deve ridurre. Benché i meccanismi non siano ancora compresi completamente, sembra che nel processo che favorisce il sonno silenziando l'azione del sistema attivatore ascendente, un ruolo importante lo giochi una sostanza chiamata adenosina. Quando siamo svegli, infatti, i suoi livelli nel sangue salgono – mentre, corrispondentemente, aumenta anche il nostro bisogno di dormire – per poi diminuire quando siamo addormentati.

GUFÌ O ALLODOLE?

Insomma, l'avrete capito: per quanto ben esercitata, l'orchestra nel portare avanti il suo quotidiano concerto ha un compito tutt'altro che semplice. Reso ancora più difficile da stili di vita e abitudini che, anziché aiutare i nostri musicisti a leggere quietamente la loro partitura, sembrano far di tutto per metterli nei guai. Ritmi quotidiani irregolari, alimentazione scorretta, stress, impegni sociali o lavorativi, sono tutti elementi che contribuiscono a rompere i delicati equilibri che regolano l'organismo. E gli effetti si vedono: gli studiosi sono concordi nell'affermare che l'uomo contemporaneo dorma sempre meno e sempre peggio. Come correre ai ripari? Cominciando a conoscersi, per esempio, e osservando poche regole che possono fare la differenza. «Non siamo tutti uguali: il numero di ore di cui ciascuno ha bisogno varia con l'età – ne servono di più da giovani – e da individuo a individuo. La quantità di sonno che ci è necessaria per stare bene, infatti, è determinata geneticamente. Esistono per esempio i cosiddetti brevi dormitori, persone che possono dormire anche solo 4-5 ore per notte

ed essere perfettamente funzionali. Per gli altri, valgono le canoniche sette ore di sonno filato» spiega Lombardi. Ognuno di noi, poi, ha uno specifico cronotipo, che distingue i “gufi”, ossia coloro che preferiscono andare a letto e svegliarsi tardi, dalle “allodole”, che si coricano e si alzano presto. «Anche questo è un fattore individuale che dovrebbe essere assecondato per rispettare il nostro fabbisogno di sonno, facendo però i conti con la nostra vita quotidiana. Questo riguarda anche i più giovani: è chiaro che gli adolescenti, che amano andare a letto tardi ma al mattino devono alzarsi presto per andare a scuola, si possono trovare in difficoltà per mancanza di una corretta quantità di riposo.» Che, per loro, secondo le ricerche, dovrebbe essere di 9-10 ore a notte.

POCHE REGOLE PER UN SONNO MIGLIORE

Attenzione poi a tutto ciò che contribuisce a mettere in difficoltà i sistemi che regolano i meccanismi sonno-veglia. Spiega Lombardi: «Bisogna evitare gli stimolanti, come il caffè dopo le 16, l'alcol e il fumo e l'attività fisica serale deve essere moderata. Attenzione anche alla luminosità, perché la stanza in cui si dorme deve essere silenziosa e buia. Per questo niente tablet, monitor o videogiochi accesi fino a tardi, abitudine sempre più comune tra ragazzi e adulti, perché la loro illuminazione interferisce con il processo di addormentamento e con la qualità del sonno. Infine, occorre rispettare le nostre “porte del sonno”, ossia gli orari in cui tendiamo fisiologicamente ad addormentarci e che sono regolate dai ritmi biologici individuali e, in parte, dal condizionamento esterno. Conoscerle e rispettarle significa dormire di più e meglio e, di conseguenza, aumentare il nostro benessere». ●



© Fotolia/fabiomax

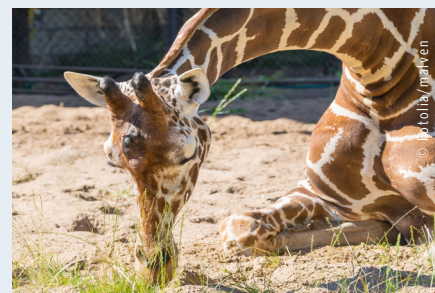
Di sera l'assunzione di sostanze stimolanti come la caffeina può interferire con un buon riposo notturno

IL SONNO DEGLI ANIMALI

Anche gli animali dormono, seppure spesso in modo molto diverso da noi: persino il piccolissimo nematode *Caenorhabditis elegans* sembra presentare stati simili a quello che noi definiamo “sonno”.

Per i mammiferi dormire è indispensabile alla sopravvivenza visto la completa privazione del sonno porta alla morte degli individui in un tempo piuttosto breve.

Tra i primati, l'uomo è quello che dorme di meno. Le sue sette ore di media, in effetti, sembrano poca cosa rispetto alle 13-17 ore al giorno dormite dall'aoto dalle tre strisce, dal tamarino edipo o dal microcebo murino. Il nostro sonno, però, sarebbe più profondo, più efficiente e con una percentuale di fase REM maggiore rispetto a quello di tutti gli altri primati. Più in generale, negli animali, le modalità di riposo sembrano differire parecchio tra predatori e prede. Mentre i primi possono concedersi periodi anche prolungati di sonno diurno o notturno, a seconda delle abitudini, i secondi sono costretti ad adattarsi per non fare una brutta fine. Per questo, molte specie, dormono a brevi intervalli. Le giraffe, in particolare, riposano non più di 5 minuti per volta, quasi sempre in posizione eretta. Una strategia particolarmente efficace è quella messa in atto da delfini e foche in cui a dormire è un emisfero cerebrale per volta: mentre uno dorme, l'altro presenta il pattern dello stato di veglia, permettendo così all'animale di mantenere attiva la guardia ed evitare i pericoli.



© Fotolia/pariven

In natura le “prede” dormono spesso a piccoli intervalli

PER APPROFONDIRE

- *Sleep and dreaming: The how, where and why*, raccolta di articoli sul sonno su New Scientist. link.pearson.it/18CEE048
- *The power of Sleep*, in Scientific American, 2015, Vol. 313, pp. 51-57.
- *Quando gli emisferi cerebrali dormono a turno*, in lescienze.it, 22 aprile 2016. link.pearson.it/FF76CD4F
- *Extent and Health Consequences of Chronic Sleep Loss and Sleep Disorders*, in *Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem*, National Academies Press 2006. link.pearson.it/8871FDD9

Donato Ramani

è giornalista e project manager del Master in comunicazione della scienza Franco Pratico della SISSA di Trieste. Si occupa di formazione in comunicazione scientifica e scrive per diverse testate di scienza e non solo.



Piccoli fossili marini per studiare il clima che cambia

di **Katia Carbonara** e **Valentina Murelli**

Si chiamano coccolitoforidi, sono piccolissime alghe molto abbondanti negli oceani, anche nelle loro forme fossili. E proprio dallo studio di queste forme - i cosiddetti nannofossili calcarei - si ottengono informazioni fondamentali sul clima del passato e sulla sua evoluzione attuale.



Scogliere di Dover formate da resti di nannofossili calcarei e gusci di foraminiferi, protozoi a loro volta rivestiti da gusci mineralizzati

Avete presente le bianche scogliere di Dover, nel Regno Unito? Immense e abbaglianti pareti di roccia affacciate sul Canale della Manica e, nelle belle giornate, visibili fin dalla Francia. Sembra incredibile, ma alla base di tanta maestosità ci sono anche alcune delle creature fossili più minuscole della Terra, i cosiddetti nannofossili calcarei. Parliamo di resti fossili di piccolissime alghe fotosintetiche unicellulari, dal diametro compreso tra 2 e 35 micrometri (μm) e appartenenti

all'ordine dei Coccolitophorales e, nel complesso, al fitoplancton, cioè l'insieme di organismi autotrofi fotosintetizzanti presenti nel plancton. I loro discendenti, i coccolitoforidi, popolano ancora oggi gli oceani, svolgendo un ruolo importante nei cicli dello zolfo e del carbonio. Il bello delle forme fossili, però, è che oltre a regalarci paesaggi spettacolari ci permettono di effettuare incursioni nel lontano passato della Terra, alla scoperta del clima di centinaia di milioni di anni fa.

IDENTIKIT DI UN'ALGA CON SCUDO

Caratteristica principale dei coccolitoforidi è quella di produrre, in varie fasi del loro ciclo vitale, i cosiddetti coccoliti: placchette calcaree di dimensioni ridotte (siamo nell'ordine dei micron) che funzionano come scudi scheletrici esterni, che nel complesso – in genere ce ne sono da 10 a 30, incastrati tra loro ad avvolgere completamente o parzialmente la cellula – formano una coccospfera di forma subsferica o ellissoidale. Sono proprio questi coccoliti che, dopo la morte della cellula che ricoprono, si separano uno dall'altro per depositarsi sul fondo del mare, dove fossilizzano. A lungo andare, possono anche formare successioni di rocce di notevole spessore, come appunto le scogliere di Dover. I coccoliti possono attraversare una colonna d'acqua di 5000 metri raggiungendo il fondo del mare in soli 22-100 giorni: questo assicura una certa corrispondenza tra le specie viventi che popolano gli strati superiori della colonna d'acqua e quelli che si depositano sul fondo. Significa che, conoscendo proprietà e caratteristiche – per esempio, le condizioni di salinità e temperatura in cui prosperano – delle specie di oggi, posso avere informazioni anche su quelle di ieri: un punto importante per lo studio del clima del passato.

L'ODORE DEL MARE

Per quanto possa sembrare incredibile, i minuscoli coccolitoforidi sono anche responsabili di una delle sensazioni che più ci colpiscono quando facciamo una passeggiata in riva al mare o una gita in barca: il caratteristico “odore del mare”. Queste alghe, infatti, producono nel loro metabolismo un composto dello zolfo che, successivamente alla loro morte, viene convertito da alcuni batteri che si cibano dei resti delle alghe stesse in dimetilsolfuro (DMS), composto al quale si deve il tipico profumo di salsedine (per alcuni, più banalmente, “puzza di alghe”). E ancora, i coccolitoforidi rappresentano una fonte a breve termine di CO₂ atmosferica, attraverso il processo di calcificazione (il processo di creazione di gusci calcarei a partire da ioni calcio e ioni idrogenocarbonato, con liberazione di acqua e diossido di carbonio). Inoltre, sono responsabili della rimozione della CO₂ dall'atmosfera attraverso la fotosintesi. Insomma, partecipano attivamente allo scambio sia di CO₂ sia di DMS tra l'acqua del mare e l'atmosfera.

INDICATORI DEL CLIMA DI IERI

Come abbiamo detto, i resti fossili dei coccolitoforidi possono raccontarci molto del clima del passato: attraverso il loro studio, possiamo risalire a informazioni utili per

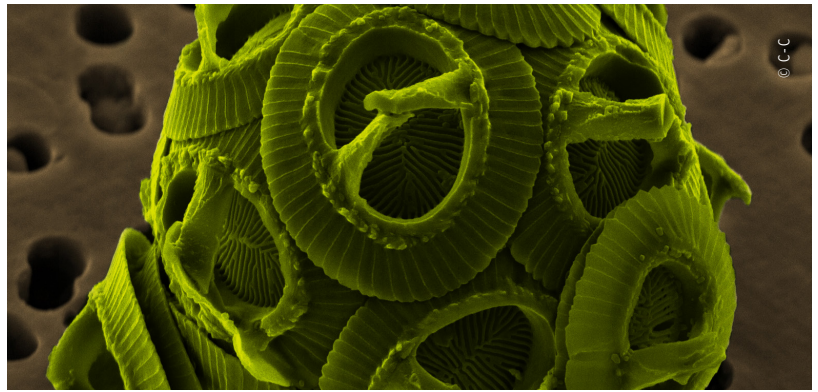


Immagine in falsi colori al microscopio elettronico a scansione di *Gephyrocapsa oceanica*, con i coccoliti in evidenza

descrivere il clima di decine, centinaia o milioni di anni fa. Addirittura, i nannofossili calcarei ci permettono di ricostruire il clima caratteristico di determinate aree della Terra ben 200 milioni di anni fa!

Il punto è che, per usare un termine tecnico, sono utilissimi proxies o indicatori, in grado di darci informazioni su temperatura, precipitazioni, salinità e altri parametri ambientali del passato. In particolare, ogni specie mostra preferenze ecologiche ben specifiche e distinte da quelle delle altre specie. Per esempio, un parametro assolutamente fondamentale per la sopravvivenza e l'accrescimento delle varie specie è la temperatura: ci sono forme che prediligono condizioni più fredde e altre che invece preferiscono condizioni più calde. Così, in base all'abbondanza relativa delle varie forme presenti in un dato campione di sedimenti marini – a preferenza calda o fredda – si riesce a capire com'era il clima nel momento in cui quei sedimenti hanno cominciato a formarsi, se tendenzialmente più caldo o più freddo. Detto altrimenti, poiché risentono dei cambiamenti dei parametri chimico-fisici delle masse d'acqua in cui vivono, i nannofossili calcarei ci permettono di interpretare variazioni paleoclimatiche e paleoceanografiche di varie zone.

Tra l'altro, molte caratteristiche generali fanno dei nannofossili calcarei degli ottimi proxies ambientali: per esempio, l'ampia diffusione geografica e la rapida evoluzione nel tempo, li rendono utilissimi strumenti di datazione. E ancora, la grande abbondanza nei sedimenti marini, che ne assicura la reperibilità, e le ridotte dimensioni, fanno sì che basti poco sedimento per poterli studiare bene.

AL LAVORO!

Ma come si fa, concretamente, a studiare questi nannofossili? Ovviamente, per prima cosa

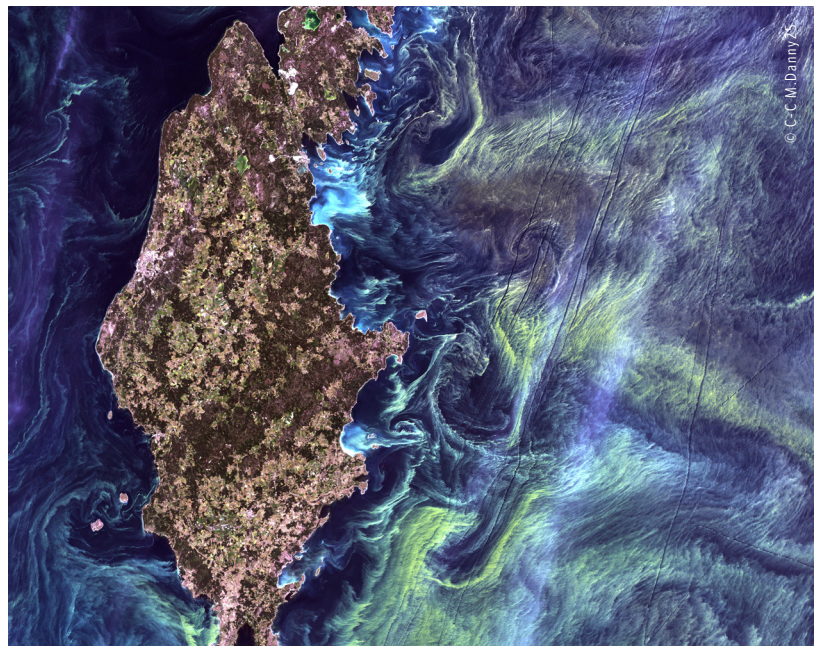
bisogna andare a raccogliarli, e lo si fa con navi oceanografiche ben attrezzate con dispositivi per perforare (o carotare) il fondale marino. Una volta prelevate le “carote” di sedimento, che sono generalmente costituite di fango, queste sono tagliate a metà e campionate. Significa che vengono raccolti campioni di fango di quantità fissa, conservati in semplici buste di plastica con etichette che riportano tutte le informazioni utili per risalire all’identikit del campione stesso (dove è stato prelevato, a quale profondità, a quale carota appartiene e così via).

Il resto del lavoro avviene in laboratorio: il fango di ogni campione viene strisciato su un vetrino e osservato al microscopio ottico a elevato ingrandimento, oppure al microscopio elettronico. A questo punto, si procede al conteggio di almeno 500 fossili per campione, compilando schede apposite che riportano i nomi delle specie e le relative abbondanze. Infine, questi dati sono inseriti in software che permettono di interpretare il clima presente all’epoca di formazione del sedimento raccolto (che intanto altri ricercatori, con varie tecniche, si sono occupati di datare).

Nel mio laboratorio, per esempio, abbiamo studiato campioni raccolti nel mare Artico, al largo delle isole Svalbard, scoprendo che circa 15 000 anni fa è iniziata una fase di riscaldamento, punteggiata però da alcuni periodi di freddo di grande importanza per la definizione del clima globale.

DAL CLIMA DI IERI A QUELLO DI OGGI

A questo punto, però, la domanda sorge spontanea: ma perché ci interessa tanto sapere se 20 000 o, peggio, 200 milioni di anni fa,



Vista dallo spazio su fioriture di fitoplancton, in particolare di coccolitoforidi, nel Mar Baltico

facesse caldo o freddo? In realtà, tutte queste informazioni non sono mai fini a se stesse, ma ci aiutano a capire come sta evolvendo oggi – e come evolverà domani – il clima sul nostro pianeta. Sappiamo bene che per fare questo tipo di “previsioni” occorrono modelli matematici molto accurati. Per costruire un modello, però, servono in prima battuta dei dati reali: solo sapendo come sono andate le cose nel tempo e al variare delle condizioni possiamo preparare simulazioni relative al futuro. Ebbene, tutti i dati che si raccolgono con lo studio dei nannofossili calcarei sono preziosissimi in questo senso, perché contribuiscono ad arricchire quell’archivio di dati sui quali si basano i modelli climatici che utilizziamo oggi per capire a che punto è la “febbre” del pianeta. ●

PER APPROFONDIRE

- *Calcareous Nannofossils*, pagina di approfondimento di University College, London.
link.pearson.it/500C5B4F
- *Nannotax*, guida (approfondita) a biodiversità e tassonomia di coccolitoforidi.
link.pearson.it/B96FFE7A
- K. Carbonara, *Io e le scienze della Terra*, webinar del ciclo Pearson Eureka!
Alla pagina link.pearson.it/832DBAE4

Katia Carbonara

27 anni, pugliese. Si è laureata in Scienze Naturali a Bari e sta svolgendo un Dottorato di ricerca in Scienze della Terra a Parma. Analizza “carote” di sedimento prelevate dal fondale dell’Oceano Artico durante spedizioni oceanografiche.



Valentina Murelli

è giornalista e science writer freelance.



Scheda Didattica / Piccoli fossili marini per studiare il clima che cambia

di **Antonio Varaldo**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. I microscopici fossili di cui tratta l'articolo sono organismi dotati di determinati caratteri strutturali e fisiologici e integrati nell'ecosistema marino. Dopo esserti documentato sui libri di testo o su Internet completa il brano seguente scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

tassonomico - bentos - Funghi - eucarioti - Protisti - procarioti - autotrofi - plancton

I coccolitoforidi sono organismi unicellulari _____, le cui cellule sono perciò dotate di nucleo e organuli; l'attività fotosintetica li rende _____, infatti possono sintetizzare la materia organica di cui necessitano. A livello _____ questi organismi sono stati inseriti recentemente tra i Cromisti, che secondo alcuni studiosi formano un regno a sé, ma tradizionalmente farebbero parte del variegato regno dei _____. Nell'ambiente marino sono una parte significativa del _____, l'insieme degli organismi microscopici che fluttuano nelle acque.

2. Che cosa si intende con il termine "calcareo", riferito al guscio dei coccolitoforidi?

3. Su quale base si distingue il fitoplancton dallo zooplancton?

4. In generale, che cosa sono le alghe?

5. Che cosa indica il termine "alghe azzurre"?

6. La ricostruzione della storia della Terra è basata sullo studio sistematico dei fossili, tra i quali sono molto importanti i cosiddetti fossili guida poiché, essendo esclusivi di periodi particolari, permettono di datare lo strato sedimentario in cui si trovano in relazione agli altri. Per ciascuno dei

seguenti fossili guida, indica l'era geologica di appartenenza specificando i corretti termini temporali: nummuliti, trilobiti, ammoniti.

7. Sempre sul tema dei fossili guida, dopo esserti documentato sui libri di testo o su Internet, rispondi alle seguenti domande.

a. In quale gruppo di animali sono inclusi i trilobiti, e perché sono così chiamati?

b. Le ammoniti sono incluse tra i molluschi cefalopodi; quali sono i tratti tipici di questo phylum?

c. Che cos'erano le nummuliti?

8. Come hai letto nell'articolo, i coccoliti si depositano sui fondali marini contribuendo alla formazione di imponenti bancate sedimentarie. La conservazione di questi gusci calcarei (come del resto quella di tutti questi gusci) è tuttavia legata alle condizioni particolari che si trovano nelle varie acque, anche in virtù della diversa profondità. Infatti, nelle profondità marine si raggiunge la cosiddetta profondità di compensazione dei carbonati, dove i carbonati si sciolgono e dunque non possono depositarsi.

a. Qual è indicativamente la profondità di compensazione dei carbonati negli oceani?

b. Quali sono i fattori che possono innalzare localmente la profondità di compensazione?

9. Al pari di tutti i viventi, anche i coccolitoforidi utilizzano e restituiscono carbonio in varie forme all'ambiente; considerando i processi citati in articolo, descrivi quello che è parte del ciclo organico del carbonio e quello che invece è parte del ciclo inorganico.

Scheda Didattica / Piccoli fossili marini per studiare il clima che cambia

di **Antonio Varaldo**

RISPOSTE

1. Eucarioti; autotrofi; tassonomico; Protisti; plancton.
2. Il termine è comunemente utilizzato per indicare strutture minerali formate da carbonato di calcio (CaCO_3).
3. Gli organismi del fitoplancton sono autotrofi fotosintetici, mentre quelli dello zooplancton sono eterotrofi.
4. Sono gli organismi eucarioti acquatici fotosintetici, uni o pluricellulari ma a struttura semplice. Per questo, è scientificamente scorretto includere tra le alghe le piante verdi acquatiche, come la comune Posidonia.
5. Si tratta di organismi procarioti, ovviamente unicellulari; per la precisione batteri fotosintetici più propriamente denominati cianobatteri.
6. Era mesozoica (251-65 milioni di anni fa); era paleozoica (542-251 milioni di anni fa); era cenozoica (da 65 milioni di anni fa).
7.
 - a. Il nome deriva dal fatto che tutti hanno una struttura corporea suddivisa in tre lobi longitudinali, uno centrale e due simmetrici laterali; sono inclusi nel vasto *phylum* degli artropodi, lo stesso di insetti, ragni e crostacei.
 - b. I molluschi sono invertebrati dal corpo molle con organi ben specializzati, e dotati di conchiglia; i cefalopodi hanno un'accentuazione della parte anteriore - una sorta di testa come indica il nome - e spesso notevole riduzione della conchiglia.
 - c. Si tratta di organismi appartenenti al gruppo dei foraminiferi, cioè protisti eterotrofi unicellulari, alcuni dei quali hanno però raggiunto dimensioni anche superiori a 10 cm di diametro.
8.
 - a. Tra i 4 e i 5 km.
 - b. Bassa temperatura e aumento del CO_2 disciolto in acqua.
9. La formazione dei gusci calcarei si realizza a discapito degli ioni Ca_{2+} e idrogenocarbonato HCO_3^- presenti nelle acque e, perciò, è parte del ciclo inorganico; nella fotosintesi, invece, il carbonio inorganico delle molecole di CO_2 viene fissato in molecole di zuccheri e così organicato.

Antonio Varaldo

è naturalista e fotografo; insegnante liceale, come divulgatore ha collaborato a Tuttoscienze, alle enciclopedie UTET e Repubblica, con vari editori del settore scolastico e con l'agenzia ITCILO dell'ONU.



Gomma verde dal deserto

di **Vincenzo Guarnieri**

La gomma naturale ha alcune proprietà insostituibili rispetto a quella sintetica. Ancora oggi viene estratta soprattutto da un albero originario dell'Amazzonia, ma servono alternative. Da qui il rinnovato interesse per il guayule, arbusto della zona desertica tra Messico e Stati Uniti, nell'ambito di approcci tipici della chimica verde.



Il guayule è una fonte alternativa di gomma naturale

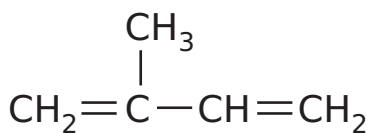
È un piccolo arbusto che cresce nel deserto di Chihuahua, tra gli Stati Uniti e il Messico, non lontano da dove è stata selezionata l'omonima razza canina. Non è molto conosciuto, ma potrebbe diventare essenziale per produrre oggetti come guanti, pneumatici o preservativi. Il guayule (nome scientifico *Parthenium*

argentatum) è una fonte alternativa di gomma naturale. Ancora oggi, questo prezioso materiale è tipicamente ricavato dall'*Hevea brasiliensis*, l'albero che gli indigeni dell'Amazzonia chiamavano "Cahutchu", che significa legno piangente. Tra il 2008 e il 2012, però, il progetto europeo EU-PEARLS (EU-Based

Production and Exploitation of Alternative Rubber and Latex Sources), condotto da un consorzio internazionale di imprese e centri di ricerca coordinato dall'Università olandese di Wageningen, ha verificato i presupposti per un impiego su vasta scala del guayule. E diverse aziende hanno già prodotto e testato i primi beni di consumo a base di gomma estratta da questo arbusto.

UN MATERIALE SORPRENDENTE

Perché tutto questo interesse per la gomma? Per una molecola polimerica, il poliisoprene, che le conferisce sorprendenti proprietà elastiche. Quando, nella prima metà dell'Ottocento, viene messo a punto un sistema efficiente per la lavorazione della gomma naturale, questa diventa presto fondamentale per la realizzazione di molteplici beni, dai rivestimenti agli pneumatici. Il Brasile detiene inizialmente il monopolio della sua produzione, per la quale gli indios vengono sterminati o ridotti in schiavitù. Poi francesi, inglesi e olandesi decidono di coltivare il prezioso albero nelle loro colonie asiatiche e africane. Le nazioni che, invece, non dispongono delle piantagioni di *Hevea* sono costrette a importare il prezioso materiale. O ad ingegnarsi per trovare sistemi alternativi per produrlo.



2-METIL-1,3-BUTADIENE ISOPRENE

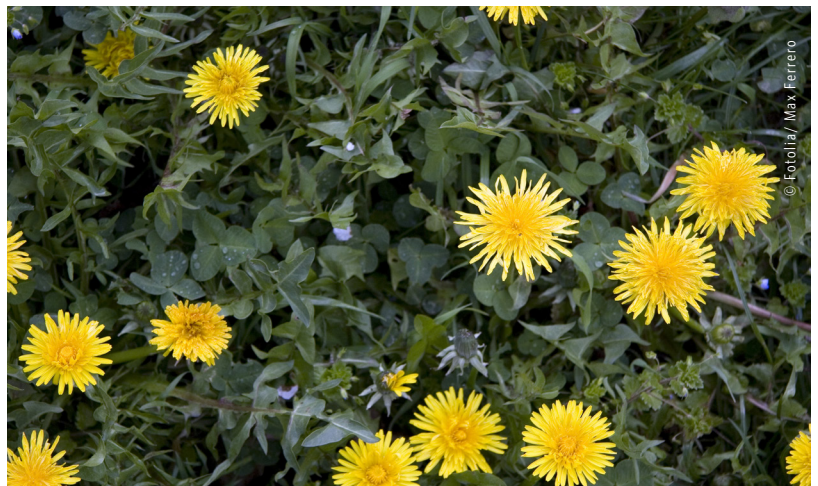
L'ITALICO GUAYULE

Quali? Un'idea è quella di cercare altre piante che contengano sostanze "elastiche". Negli anni Trenta, i russi ci provano con il *Taraxacum kok-saghyz*, una varietà di tarassaco dell'Uzbekistan e del Kazakistan, mentre gli americani individuano un arbusto molto resistente al cui interno sono presenti sostanze con le proprietà tipiche della gomma. E conducono ricerche per selezionare semi, tecniche di coltivazione e di estrazione migliori. Si tratta proprio del guayule. Non è una novità dei nostri giorni, allora. E nemmeno delle nostre parti, anche se il guayule compare presto anche da noi. Nel tentativo di rendersi indipendente dalle importazioni, l'Italia fascista e autarchica avvia una collaborazione

con l'Intercontinental Rubber Company: la società americana verifica le condizioni agronomiche del territorio nazionale (e delle sue colonie) e invia semi di guayule selezionati per i primi tentativi di coltivazione. La regione che risulta più adatta è la Puglia. Nella primavera del 1940, l'Ente Gomme Guayule avvia una coltivazione su vasta scala in provincia di Foggia. Ma poco dopo l'Italia entra in guerra, gli americani diventano nemici e non ci sono più le condizioni per coltivare l'arbusto. Nel 1944 gli alleati occupano quei terreni, li convertono in cereali e mettono fine all'esperienza dell'italico guayule. Momentaneamente.

OLTRE LE PIANTE

Quella di cercare piante alternative all'*Hevea* non è l'unica idea. I tedeschi non dispongono del caucciù però hanno tanto carbone. Da questa fonte fossile ricavano diverse sostanze chimiche, tra le quali lo stirene e l'1,3-butadiene. Negli anni Trenta, attraverso una reazione chimica di addizione tra le due sostanze, riescono a ottenere un copolimero che viene chiamato Buna S. Si tratta della gomma "sintetica". In Italia, in quegli stessi anni, il futuro premio Nobel per la chimica Giulio Natta lavora per mettere a punto un processo simile che utilizza come materia prima l'alcol etilico



Taraxacum kok-saghyz, il tarassaco russo

GREEN CHEMISTRY O GREEN WASHING?

Non è detto che un prodotto della green chemistry sia sempre sostenibile. Anche se realizzato con risorse rinnovabili, la velocità di sfruttamento di queste potrebbe superare quella di rigenerazione naturale. Oppure potrebbe competere con altri prodotti, come il cibo. Inoltre, minimizzare l'impatto socio-ambientale di un prodotto non significa annullarlo del tutto. L'etichetta green chemistry può nascondere un tentativo di *green washing*, un trucco "verde" per attrarre i consumatori e incrementare le vendite.



© Fotolia/pongmoji

L'*Hevea*, l'albero che gli indigeni dell'Amazzonia chiamavano "Cahutchu", che significa legno piangente

ottenuto per fermentazione delle biomasse, in particolare delle barbabietole. E anche gli americani, soprattutto nel corso della Seconda guerra mondiale, guardano oltre al guayule e puntano alla gomma sintetica, utilizzando prima l'alcol dalle biomasse e poi il petrolio. La nascita dell'industria petrolchimica è stata fondamentale per la vittoria degli alleati. E, dal dopoguerra in avanti, per la produzione della gomma (e di quasi tutte le materie plastiche) a partire dall'oro nero.

TUTTI I VANTAGGI DELL'ARBUSTO DEL CHIHUAHUA

Perché allora si torna a parlare di guayule? La gomma naturale non viene del tutto soppiantata da quella sintetica. Per alcune sue proprietà, come la resistenza all'abrasione, è insostituibile. E oggi proviene per il 93% dalle piantagioni di Hevea del sud-est asiatico. In Sud America la produzione è crollata perché l'albero è stato attaccato da un fungo, il *Microcyclus ulei*, che potrebbe raggiungere anche l'Oriente. Ogni anno l'Europa impiega più di un milione di tonnellate di gomma naturale, ma deve importarla tutta dall'Asia. La gomma è considerata una materia prima strategica su cui l'industria europea è totalmente dipendente dall'Oriente. Ora come in passato, dunque, meglio trovare un'alternativa e il guayule sembra ancora una delle più promettenti, tanto che appunto il progetto EU-PEARLS si è concentrato proprio su questo arbusto, come avevano fatto gli americani nel secolo scorso. Perché? Intanto si adatta bene ai climi temperati e aridi di alcune regioni del Mediterraneo,

Italia compresa. La sua coltivazione può essere meccanizzata e può avvenire in terreni marginali senza sottrarre spazio e risorse alla produzione di cibo. A differenza dell'*Hevea*, al momento non si conoscono parassiti dell'arbusto. E, cosa non da poco, il lattice che si estrae dal guayule contiene meno proteine di quello del caucciù. Questo significa che provoca meno allergie e che lo rende particolarmente adatto alla fabbricazione di materassi, guanti e prodotti medicali.

COME IL MAIALE

Al momento i progetti di ricerca volti alla produzione di gomma dal guayule rientrano in quell'ambito della chimica che prende il nome di *green chemistry* (chimica verde). Si tratta di un approccio alla chimica che cerca di minimizzare i danni arrecati alla salute e all'ambiente. In che modo? Per produrre la gomma sintetica, prima si semplificano le macromolecole presenti nel petrolio (o nel carbone) fino a ottenere i monomeri di partenza e poi questi vengono riasssemblati attraverso reazioni di addizione per formare i polimeri desiderati. Prima si scompone e poi si ricompone con una serie di passaggi che richiedono energia e producono scarti, spesso tossici. Il guayule contiene già le macromolecole desiderate. La pappa è già pronta, bisogna solo tirarla fuori dalla pianta senza sprecarla. E per farlo sono state messe a punto tecniche di estrazione che non prevedono l'uso di solventi tossici ma di semplice acqua. L'approccio della *green chemistry* prevede di ridurre gli sprechi e di ottimizzare le rese. Così si stanno studiando sistemi per realizzare prodotti utili da ciò che

resta dell'arbusto dopo l'estrazione del lattice, come materiali per l'edilizia o pellet per le stufe. È stato anche studiato un processo di pirolisi per ottenere biocombustibile. Per la chimica verde il guayule è come il maiale, non si butta via niente.

TRA CHIMICA E GEOPOLITICA

EU-PEARLS, comunque, non si è rivolto solo al guayule: ha studiato anche il *Taraxacum kok-saghyz*, come avevano fatto i russi. E i risultati, anche in questo caso, sembrano promettenti. L'innovazione in chimica non è solo una questione di atomi, molecole e reazioni. È anche una questione di dinamiche geopolitiche, non sempre così nuove. ●



Le modalità di utilizzo del guayule sono innumerevoli

PER APPROFONDIRE

- *Green Chemistry*. Sito dell'Environment Protection Agency degli Stati Uniti dedicato alla green chemistry. Interessante il link "education". link.pearson.it/98DC80B3
- *Guayule*. Sito dell'Università di Wageningen sullo stato della ricerca di fonti alternative di gomma naturale dal guayule. link.pearson.it/1D5D109
- *Russian dandelion*. Sito dell'Università di Wageningen sullo stato della ricerca di fonti alternative di gomma naturale dal tarassaco russo. link.pearson.it/76D2E19F
- Cianci A., SAIGA. *Il progetto autarchico della gomma naturale. Dalla coltivazione del guayule alla nascita del polo chimico di Terni*, Thyrs, Terni 2007.
- Redondi P., a cura di, *La gomma artificiale - Giulio Natta e i Laboratori Pirelli*, Guerini e Associati, Milano 2013.
- Guerra C., *El abrazo de la serpiente* (2015). Sofisticato film ambientato nella foresta amazzonica durante la prima metà del Novecento. È molto efficace nel raccontare l'incontro-scontro tra la cultura indios e quella occidentale anche per quanto riguarda l'estrazione del lattice dagli alberi di *Hevea*.

I FRUTTI DELLA CHIMICA VERDE

Già durante la grande crisi del ventinove, Henry Ford cercava di realizzare alcune parti delle sue automobili a partire dalla soia. In quegli anni prendeva piede la "chemiurgia", un approccio che prevede l'impiego di materie prime agricole per l'industria. Insomma, la green chemistry non è proprio nata oggi, ma attualmente è in esplosione. Ecco qualche esempio. Dalla paglia del grano si può estrarre una paraffina con la quale si producono rossetti o altri cosmetici. Il Mater-Bi e il Solanyl sono due bioplastiche prodotte a partire da mais e bucce di patata, rispettivamente. Piante ad alto contenuto di olio, come il girasole e alcune brassicacee, sono utili per la produzione di biolubrificanti impiegati nell'industria. Il *Chrysanthemum cineræfolium* è una margherita da cui si estraggono le piretrine, sostanze antiparassitarie utili in agricoltura e meno tossiche di quelle di sintesi. Dalle biomasse vegetali, come colza, mais o i residui organici provenienti dalle foreste si sintetizzano i biocombustibili.



Il *Chrysanthemum cineræfolium*

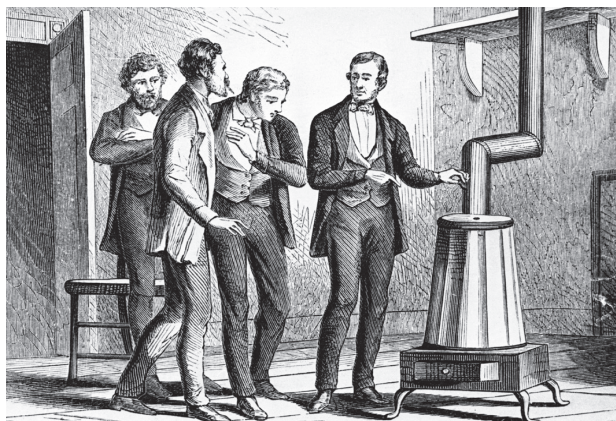
Vincenzo Guarnieri

è chimico e ha un dottorato di ricerca in biochimica e biotecnologia cellulare. Si occupa di comunicazione della scienza. Ha pubblicato Maghi e reazioni misteriose (Lapis edizioni, 2007), una storia della chimica per ragazzi.



Scheda Didattica / Gomma verde dal deserto

di **Vincenzo Guarnieri**



C. Goodyear offre una dimostrazione del processo di vulcanizzazione (stampa d'epoca)

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. VERO O FALSO?

- a. La gomma naturale ottenuta dal guayule è meno allergenica di quella dell'*Hevea* perché contiene più proteine. V F
- b. Dalla Seconda guerra mondiale, la gomma sintetica prodotta a partire dal petrolio ha totalmente sostituito quella naturale estratta dalle piante. V F
- c. L'approccio della green chemistry permette di produrre materiali e beni di consumo impiegando esclusivamente il mondo vegetale. V F
- d. È possibile produrre la gomma sintetica facendo fermentare le barbabietole. V F
- e. Il tarassaco russo è una fonte dalla quale si può ottenere l'alcol etilico necessario alla produzione della gomma naturale V F
2. Alcuni ricercatori sono riusciti a ottenere biocombustibili dai residui di guayule con la pirolisi. In che cosa consiste? Riesci a individuare almeno altri due impieghi di questo processo?
3. Nel 1839 l'americano Charles Goodyear scopre che, scaldando la gomma naturale in presenza di zolfo, la gomma diventa estremamente resistente ed elastica. Inventa così il processo della vulcanizzazione grazie al quale questo materiale trova moltissimi impieghi, soprattutto nell'industria automobilistica. In che cosa consiste esattamente?
4. Per l'Europa la gomma naturale è una materia prima strategica perché risulta fondamentale per l'economia.

Tuttavia non è in grado di produrla dato che non possiede la fonte di tale materia prima, le piantagioni di *Hevea* che crescono solo nei climi tropicali. È per questa ragione che promuove progetti di ricerca volti a impiegare delle fonti alternative, come il guayule o il tarassaco russo. Esistono situazioni simili? La ricerca sul grafene può essere una di queste. Questo nuovo materiale, tra le sue molteplici applicazioni, può risultare fondamentale nella produzione di apparecchi elettronici in sostituzione delle terre rare che l'Europa è costretta a importare. Prova ad approfondire i due casi e metti in evidenza le analogie e le differenze.

5. L'impiego di piante con un grande valore economico è spesso accompagnato da fenomeni poco positivi per l'ambiente e la società. Il caso del caucciù in Amazonia è uno dei più emblematici: gli indios hanno subito ogni genere di violenza per l'estrazione del prezioso lattice a partire dalla prima metà dell'Ottocento. Si calcola che ogni tonnellata di gomma naturale sia costata la vita di otto persone. Inoltre, per fare spazio alle piantagioni di *Hevea brasiliensis* nelle colonie che gli europei avevano in Oriente, sono state abbattute le foreste provocando un enorme danno alla biodiversità. E questo fenomeno è in corso ancora oggi. Realizza una ricerca volta a individuare altri casi in cui la coltivazione di una pianta ha provocato o provoca tuttora dei danni socio-ambientali.

6. Immagina di lavorare per un'azienda italiana che produce gomma (e altri materiali utili) a partire dal guayule, applicando la filosofia della chimica verde. Alla tua azienda occorre una sufficiente quantità di arbusto per far funzionare la filiera produttiva. E questo può essere coltivato anche in Italia, per esempio in Sicilia. Il tuo compito è quello di invitare i contadini siciliani a piantare il guayule. Cosa racconti a queste persone? Tieni conto di quali potrebbero essere le loro esigenze, le loro perplessità e i loro vantaggi. Scrivi con cura un discorso.

Scheda Didattica / **Gomma verde dal deserto**

di **Vincenzo Guarnieri**

RISPOSTE

1. **a.** F; **b.** F; **c.** F; **d.** V; **e.** F.
2. Si tratta di un processo di decomposizione chimica di un composto per mezzo del calore, in assenza di ossigeno o altri agenti ossidanti. È impiegato per esempio nel cracking del petrolio o nel trattamento termico dei rifiuti.
3. Gli atomi di zolfo formano legami trasversali tra le catene polimeriche della gomma, rendendo la struttura nel complesso più stabile e inalterabile, oltre che elastica.
4. Solo a titolo di esempio, una delle analogie è la necessità "strategica" dettata dalle dinamiche internazionali che giustifica il finanziamento di tali progetti e una delle differenze può essere la portata dei finanziamenti, decisamente maggiore nel caso del grafene.
5. Ne esistono molti purtroppo. Solo a titolo di esempio, si consideri la coltivazione intensiva di soia o di palma da olio che in diverse regioni compromette le foreste e il benessere delle popolazioni.

Hamilton e quaternioni: una rivoluzione in algebra

di **Giovanna Guidone**

Fin dalle scuole primarie impariamo che la moltiplicazione è un'operazione commutativa: cambiando l'ordine dei fattori, il risultato non cambia. Eppure, non è sempre così: questa regola famosissima non vale per i quaternioni, nuovi oggetti matematici che nel XIX secolo hanno rivoluzionato l'algebra.



© Fotolia/vitoktimon

Hamilton superò le regole di composizione dell'algebra tradizionale, dando vita a una nuova rivoluzione matematica, oltre a quella delle geometrie non euclidee

Immagina una lavagna nera e tu in piedi lì davanti; immagina un'interrogazione di matematica e un'odiosissima espressione algebrica piena di parentesi e segni meno. Da una riga all'altra, ad un certo punto un termine $+ab$ diventa $-ba$. "Attento al segno!" suggerisce l'insegnante, benevolmente. L'incubo di molti, questi segni. Ma stavolta potresti anche avere una chance insospettata... La storia che raccontiamo qui narra di un matematico irlandese, uno dei pochi che l'Irlanda abbia avuto, che nel XIX

secolo, per seguire un suo chiodo fisso, ha contribuito a rivoluzionare le regole dell'algebra. Dopo di lui, sarà lecito affermare che il prodotto di due numeri in un certo ordine può non essere uguale al prodotto degli stessi numeri nell'ordine inverso. Dopo di lui, gli studenti potranno sostenere, in certi contesti, di non aver fatto errori di segno, ma di aver applicato regole particolari dal nome misterioso, le regole dei quaternioni. Insomma, l'algebra dalla metà dell'Ottocento guadagna una libertà che di primo

acchito può sembrare simile all'anarchia: diventa possibile operare secondo regole che prima erano proibitissime (e che tutto sommato, in condizioni usuali, ancora oggi lo sono per uno studente di scuola superiore). Ma procediamo per ordine.

LA GRANDE PASSIONE DI UN ASTRONOMO PRECOCE

William Rowan Hamilton è sin da bambino un personaggio fuori dal comune: nato a Dublino nel 1805, a tre anni viene mandato a studiare da uno zio che aveva un grande talento per le lingue. A otto anni il ragazzo aveva già imparato il greco, il latino, l'ebraico, il francese e l'italiano. Qualche anno più tardi, conobbe un giovane americano che era prodigioso nel fare i calcoli e con il quale ingaggiò competizioni aritmetiche, risultando quasi sempre vincitore. Sembra che sia stata questa frequentazione ad accendere in Hamilton l'amore per la matematica.

Da completo autodidatta, Hamilton arrivò primo nella selezione per il Trinity College di Dublino, dove nel 1824 iniziò a studiare astronomia. Tre anni dopo, la sua fama era già così vasta che, nonostante non fosse ancora laureato, venne nominato direttore dell'Osservatorio Reale di Astronomia. In questi anni della sua attività scientifica si occupò di astronomia e di ottica, con risultati estremamente rilevanti, ma era soprattutto un problema di natura matematica quello per il quale sembrava coltivare da sempre una vera e propria passione.

IL PROBLEMA DEI NUMERI COMPLESSI

Per la precisione, Hamilton era ossessionato dai numeri complessi. Questi numeri erano stati introdotti nel XVI secolo nel tentativo di trovare soluzioni generali alle equazioni di terzo grado. I matematici rinascimentali alle prese con questo problema si trovavano spesso di fronte alla radice di un numero negativo. Che fare? All'inizio, timidamente, introdussero il simbolo $\sqrt{-1}$, che venne impiegato per molto tempo come semplice artificio algebrico. I numeri complessi sono "numeri che dovrebbero non esistere", disse Cartesio, che li chiamò "numeri immaginari". Abraham de Moivre e Eulero nel XVIII secolo fornirono ai numeri complessi una base teorica, finché questi assunsero piena cittadinanza nel mondo matematico con i lavori di Gauss. Al *Princeps Mathematicorum*, come spesso Gauss veniva chiamato, dobbiamo anche l'interpretazione dei numeri complessi come punti del piano: essi sono numeri della forma $a+ib$ ai quali si associa il punto del piano (a, b) e con i quali si opera con le regole algebriche

ordinarie a condizione di prestare attenzione al fatto che $i^2 = -1$.

Qual era dunque il problema di Hamilton un secolo dopo? Poiché i numeri complessi permettono di descrivere in termini di somme e prodotti i movimenti rigidi del piano come le traslazioni o le rotazioni, Hamilton voleva a tutti i costi costruirne un analogo tridimensionale. Voleva, cioè, costruire un insieme di numeri "ipercomplessi" che potessero descrivere, attraverso le loro operazioni, i movimenti nello spazio tridimensionale.

LE DIFFICOLTÀ DEI NUMERI "STRANI"

Quella dei numeri è una storia molto più lunga e articolata di quanto si potrebbe credere. Basti pensare al fatto che all'epoca del Rinascimento - quando cioè il teorema di Pitagora aveva già compiuto 2000 anni - gli unici numeri che venivano considerati teoricamente "sicuri" erano i numeri naturali e i numeri razionali (o meglio, le frazioni). Anche i numeri negativi, che pure avevano fatto una prima tempestosa apparizione nella matematica greca, erano snobbati: il matematico italiano Gerolamo Cardano chiamava i numeri positivi "veri" e quelli negativi "finti". Per non dire dei numeri irrazionali, che da due millenni portavano con sé quell'aura di inaffidabilità che tanti guai aveva creato a Pitagora. Solo nel Seicento, grandi matematici come Galileo e Newton dettero ai numeri negativi la stessa dignità degli altri numeri e Cartesio li utilizzò in modo indispensabile per la rappresentazione dei punti sul piano. Per una teoria rigorosa dei numeri irrazionali bisognerà invece aspettare il XIX secolo.

L'INVENZIONE DEI QUATERNIONI

Cercò a lungo, fino a che non ebbe un'illuminazione. Si narra che il 16 ottobre 1843 passeggiasse con la moglie sul Broom Bridge a Dublino, ascoltandola come sempre distrattamente. In quel momento ebbe una folgorazione, si fermò, tirò fuori dalla tasca un coltellino e incise sulla balaustra del ponte alcune formule. Oggi non c'è traccia di quell'incisione, ma se andate a Dublino potrete trovare sul ponte una targa che commemora questa famosa illuminazione matematica.

Hamilton aveva compreso che, per descrivere le rotazioni nello spazio, non gli sarebbero bastate tre dimensioni. Immaginò quindi di poter disporre di ben tre numeri con la proprietà di avere quadrato uguale a -1 . Il primo di questi numeri è la vecchia unità immaginaria, ossia il numero complesso i . Gli altri due Hamilton li chiamò j e k . Usando i, j e k si può dar vita a un intero mondo di nuovi oggetti del tipo $q = a+bi+cj+dk$, dove $a, b, c, e d$ sono ordinari numeri reali. Hamilton chiamò numeri di questo tipo *quaternioni*, perché sono formati in generale da quattro tipi di addendi (un numero, un multiplo di i , un multiplo di j e un multiplo di k). I quaternioni costituiscono un insieme di oggetti matematici astratti per il quale sono definite delle regole di composizione (ossia di somma, di prodotto e di moltiplicazione per un numero reale). La regola

principale – quella che Hamilton incise sul ponte di Berlino – descrive come si moltiplicano fra di loro i “costituenti di base”, cioè i, j e k :

$$i^2=j^2=k^2=-1 \text{ e } ij=-ji=k, ik=-ki=-j, jk=-kj=i.$$



Il lampo d'ispirazione che colpì William Rowan Hamilton sul Broom Bridge è ricordato in questa lapide

REGOLE CHE NON VALGONO PIÙ

Ora, da quando eravamo in seconda elementare ci hanno assicurato che la moltiplicazione è un'operazione commutativa. Ebbene, in questo nuovo insieme di numeri non è così: anzi, se si cambia l'ordine con cui si esegue una moltiplicazione tra due unità, questa darà come risultato il valore opposto a quello iniziale. L'idea di staccarsi dalle regole tradizionali venne ad Hamilton riflettendo proprio sulle rotazioni nello spazio: se si considera, per esempio, un segmento sull'asse x dello spazio tridimensionale e lo si ruota di novanta gradi prima rispetto all'asse y e poi a quello z , il risultato è l'opposto di quello che si otterrebbe invertendo l'ordine delle rotazioni. Infatti, la composizione tra rotazioni nello spazio non è, in generale, commutativa. Pertanto, se i quaternioni dovevano descrivere (anche) le rotazioni nello spazio, bisognava lasciar loro la libertà di comporsi in modo non commutativo.

DALLA PURA FANTASIA ALLA VITA QUOTIDIANA

L'algebra che ne viene fuori, ossia l'insieme di regole con cui si fanno operazioni tra i nuovi oggetti, taglia definitivamente il cordone ombelicale che legava i numeri al loro significato “concreto” e alle proprietà date per acquisite una volta per tutte. Osserviamo per esempio che, nell'ambito dei quaternioni, il “numero” -1 ha ben 6 radici quadrate, ovvero esistono sei quaternioni $(\pm i, \pm j$ e $\pm k)$ il cui quadrato fa -1 . Anche in aritmetica (così come stava succedendo per la geometria, con la nascita delle cosiddette geometrie non euclidee), i matematici avocavano a sé il diritto di inventare oggetti la cui essenza è definita in relazione al comportamento e regole per comporli seguendo solo fantasia ed

OPERAZIONI “SPECIALI”

Come si fanno le operazioni con i quaternioni?

Dati due quaternioni $q_1 = a_1i + b_1j + c_1k + d_1$ e $q_2 = a_2i + b_2j + c_2k + d_2$, la loro somma è semplicemente

$$q_1 + q_2 = (a_1i + b_1j + c_1k + d_1) + (a_2i + b_2j + c_2k + d_2) = (a_1 + a_2)i + (b_1 + b_2)j + (c_1 + c_2)k + (d_1 + d_2)$$

Per ciò che riguarda il prodotto ci vuole invece un po' di pazienza. Tenendo presenti le regole che Hamilton scrisse sul Broom Bridge, si ottiene

$$\begin{aligned} q_1 \cdot q_2 &= (a_1i + b_1j + c_1k + d_1) \cdot (a_2i + b_2j + c_2k + d_2) = \\ &= a_1i \cdot (a_2i + b_2j + c_2k + d_2) + b_1j \cdot (a_2i + b_2j + c_2k + d_2) + \\ &+ c_1k \cdot (a_2i + b_2j + c_2k + d_2) + d_1(a_2i + b_2j + c_2k + d_2) = \\ &= -a_1a_2 + a_1b_2k + a_1c_2(-j) + a_1d_2i + b_1a_2(-k) + b_1b_2(-1) + b_1c_2(i) + b_1d_2j + \\ &+ c_1a_2(j) + c_1b_2(-i) + c_1c_2(-1) + c_1d_2k + d_1a_2i + d_1b_2j + d_1c_2k + d_1d_2 = \\ &= -(a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2 - d_1d_2) + (a_1d_2 + b_1c_2 - c_1b_2 + d_1a_2)i + \\ &+ (-a_1c_2 + b_1d_2 + c_1a_2 + d_1b_2)j + (a_1b_2 - b_1a_2 + c_1d_2 + d_1c_2)k \end{aligned}$$

Da questi calcoli con i quaternioni scaturiranno, nei decenni successivi all'opera di Hamilton, i concetti e le definizioni di prodotto scalare e prodotto vettoriale che usiamo normalmente per i vettori dello spazio. Per illustrarlo attraverso un esempio semplice, possiamo considerare i due quaternioni presi sopra e porre $d_1 = d_2 = 0$. In questo caso, si vede che il calcolo precedente conduce a:

$$q_1 \cdot q_2 = -(a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2) + (b_1c_2 - c_1b_2)i + (-a_1c_2 + c_1a_2)j + (a_1b_2 - b_1a_2)k$$

Se q_1 e q_2 fossero due vettori rappresentati come al solito in \mathbb{R}^3 , questo prodotto non sarebbe altro che la differenza fra il loro prodotto vettoriale e il loro prodotto scalare.



Quella dei numeri è una storia molto più lunga e articolata di quanto si potrebbe credere

ispirazione. Progressivamente si affermava l'idea che gli oggetti algebrici potessero anche non descrivere il mondo reale. Sul fatto che, poi, moltissimi degli oggetti nati dalla fantasia dei matematici si siano rivelati a distanza di tempo utilissimi a descrivere situazioni fisiche molto complesse, sarebbe interessante meditare. In ogni caso, questa tendenza della matematica incontrò molte opposizioni, e già da subito fiorirono critiche e ironie sull'opera di Hamilton. Questi, a ogni modo, a partire dal 1843 si dedicò ai soli quaternioni, abbandonando ogni altro studio. Alcuni mesi dopo la morte, avvenuta il 2 settembre 1865 all'età di sessant'anni, fu pubblicato un suo poderoso volume di 800 pagine, dal titolo *Elementi sui quaternioni*. E dopo un secolo e mezzo possiamo affermare che Hamilton aveva visto giusto: la prossima volta che andate al cinema a vedere un film di animazione o comprate un videogioco nuovissimo, ricordatevi che oggi giorno né la robotica, né la *computer graphics*, né l'aeronautica possono fare a meno dei quaternioni di Hamilton, che sono gli strumenti più efficaci per descrivere le rotazioni nello spazio di un corpo tridimensionale. ●

ALICE NELLA TERRA DEI QUATERNIONI

I lavori di Hamilton si diffusero presto in Inghilterra, dove pure arrivavano gli echi delle affermazioni delle geometrie non euclidee. Contrario all'andazzo preso dalla nuova matematica era sicuramente Charles Dogson, docente di matematica ad Oxford, meglio noto sotto lo pseudonimo di Luis Carroll.

I tentativi di Dogson di confutare le nuove teorie furono fallimentari; così egli si rifugiò nella satira letteraria. Nel suo *Alice nel paese delle meraviglie* non manca così il riferimento ai quaternioni e l'ironia sul loro bizzarro comportamento non commutativo.

Al tè delle sei, i compagni di Alice sono il Cappellaio Matto, la Lepre Marzolina e il Ghiro. Manca però il Tempo, che ha lasciato un orologio rotto. Questi quattro personaggi rappresentano le quattro dimensioni dei quaternioni di Hamilton: quando ne manca una, i quaternioni non possono ruotare nello spazio ma solo su un piano. E infatti, i tre commensali continuano a ruotare intorno al tavolo in cerca di piattini e tazzine. Ma Carroll è soprattutto contrariato dalla non commutatività del prodotto. Forse avete già letto questo dialogo famoso, ma ora lo farete con occhi (matematicamente) nuovi:

«Ebbene dica quel che intende,» disse la Lepre-marzolina.

«Ecco,» riprese Alice, in fretta; «almeno - almeno intendo quel che dico - e ciò vale lo stesso, capite.»

«Niente affatto lo stesso!» disse il Cappellaio. Sarebbe come dire, «'Veggio quel che mangio' è lo stesso di 'Mangio quel che veggo?'»

«Sarebbe come dire,» soggiunse la Lepre-marzolina. «'Mi piace ciò che prendo' è lo stesso che 'Prendo quel che mi piace?'»

«Sarebbe come dire,» aggiunse il Ghiro che pare parlasse nel sonno, «'respiro quando dormo' è lo stesso che 'dormo quando respiro?'»

«E lo stesso per voi,» disse il Cappellaio, e qui la conversazione cadde, e tutti sedettero muti per poco tempo...

[da Carroll L., *Le avventure di Alice nel paese delle meraviglie*, (1865), tr. it. Pietrocola-Rossetti T., 1872, Cap.7]

Giovanna Guidone

dopo la laurea in matematica all'Università di Pavia e il dottorato in fisica matematica a Pisa si è dedicata all'insegnamento nella scuola secondaria. È inoltre titolare di un corso di analisi all'Università Politecnica delle Marche. Ama la storia e le storie della matematica.



Scienza da non perdere

di **Valentina Murelli**

Libri, siti, video, app, mostre, festival: un mondo di oggetti e iniziative che parlano di fisica, chimica, biologia, scienza della Terra o altro ancora. In questa pagina, una selezione di proposte per espandere i propri orizzonti scientifici.

Festival

LA SCIENZA CHE UNISCE I POPOLI

È un tema di pace, quello proposto dalla nona edizione del Festival della scienza di Cagliari, in programma a novembre. Si parlerà della capacità della scienza di unire i popoli, a partire dai numerosi esempi di cooperazione internazionale che i ricercatori hanno saputo offrire. Uno fra tutti? La realizzazione del CERN di Ginevra. Per non parlare del Progetto Sesame per la realizzazione di un acceleratore di particelle ad Allan, in Giordania. Vi partecipano scienziati turchi, pachistani, israeliani, egiziani e iraniani. *Cagliari, 8-13 novembre 2016*
Festival della scienza di Cagliari.
link.pearson.it/895D7E37

Libri

L'INTELLIGENZA DEGLI ANIMALI

«Invece di fare dell'umanità la misura di tutte le cose, dobbiamo valutare le altre specie per ciò che sono.» Ecco l'invito che il famoso primatologo Frans de Waal ci propone dalle pagine del suo nuovo libro, *Siamo così intelligenti da capire l'intelligenza degli animali?* Un viaggio appassionante alla scoperta delle ricerche sul tema della cognizione animale e della sua evoluzione nel tempo. Perché la misura dell'intelligenza non dipende dal paragone con quanto riesce a fare la nostra specie, ma da quanto le abilità di un animale sono funzionali a risolvere le sfide che incontra nel suo ambiente.
F. de Waal, Siamo così intelligenti da capire l'intelligenza degli animali?, Raffaello Cortina Editore, Milano 2016.
link.pearson.it/FE5A4EA1

IL CIELO CHE CI CADE SULLA TESTA

Per gli esperti sono i NEO, Near Earth Objects: asteroidi e comete che si trovano su una traiettoria a rischio di collisione con la Terra. E, qualche volta, la collisione avviene. È quello che è successo 66 milioni di anni fa, con la caduta del famoso meteorite che ha indirettamente provocato l'estinzione dei dinosauri. L'astrofisico e divulgatore Ettore Perozzi racconta in questo agile libretto che cosa sono i NEO, come vengono tenuti d'occhio e come potremmo difenderci da oggetti che davvero si mettano a caderci sulla testa.
E. Perozzi, Il cielo che ci cade sulla testa, Il Mulino, Bologna 2016.
link.pearson.it/FAF10240

LO SPAZIO, LA TERRA, L'UOMO

Dall'Universo in espansione alla struttura delle cellule, dalla bomba demografica agli aspetti neurologici della presa di decisioni, dai cambiamenti climatici alle comunità sociali di animali. È una panoramica a tutto tondo dallo



© Fotolia/lane

spazio alla Terra questo volume di Taschen, una raccolta di saggi (in inglese) illustrati relativi a “chi siamo, come viviamo e dove andiamo”. Le firme presenti – coordinate da James Lovelock, papà della teoria di Gaia – tutte di grande prestigio: tra gli altri, l’astrofisica Lisa Randall, il neuroscienziato Eric Kandel, l’inventore della sociobiologia E.O. Wilson.

J. Lovelock et al, The Earth and I, Taschen, Colonia 2016. link.pearson.it/8DF632D6

Mostre

VIVERE CON IL RISCHIO

Il terribile terremoto che lo scorso agosto ha devastato il centro Italia lo conferma: il rischio fa parte della nostra vita. Ovviamente, i rischi più gravi sono tenuti sotto controllo – per quanto possibile – da istituzioni e ricercatori, ma alcuni eventi non si possono prevedere e il loro accadimento, talvolta catastrofico, ci coglie impreparati. Come si convive, dunque, con il rischio e quali sono gli approcci scientifici, tecnici, sociali o politici che si possono mettere in atto per rendere questa convivenza il più possibile serena? Sono questi i temi al centro dell’esposizione RISK InSight, visitabile presso il Muse di Trento.

Trento, Muse, fino al 29 novembre 2016.

link.pearson.it/CC6C2C23

Riviste

IL TASCABILE

È in rete da settembre una nuova rivista online a “vocazione enciclopedica” – e non poteva che essere così, essendo realizzata dalla Treccani – che punta alla divulgazione culturale nel senso più ampio possibile. C’è anche una sezione di scienze, con contributi che, per ora, spaziano dall’esplorazione spaziale alla storia della chimica alla bioetica.

Il Tascabile. link.pearson.it/ACABA5C6

Notizie

NOBEL 2016

Autofagia, transizioni topologiche di fase e motori molecolari: sono questi i temi di ricerca premiati quest’anno con il premio Nobel rispettivamente per medicina e fisiologia, fisica e chimica. Per saperne di più un ottimo punto di partenza è il sito ufficiale del premio, che riporta già, oltre ai comunicati ufficiali sulle motivazioni delle assegnazioni, alcuni materiali di approfondimento e le prime interviste ai protagonisti, e che nel tempo si arricchirà di ulteriori contributi, anche didattici.

Nobel Prize. link.pearson.it/1392A775 ●

Valentina Murelli

è giornalista e science writer freelance.



Comitato editoriale: Valeria Cappa, Marika De Acetis, Cristina Gatti, Valentina Murelli

Coordinamento e progettazione: Valentina Murelli

Redazione e ricerca iconografica: Jacopo Cristini

Progetto grafico: Shiroi Studio srl

Impaginazione: Martina De Vincentiis

Immagine di copertina: The bull and the rhubarb (yellow) duck in Summer Palace of Beijing, China.

Credit: © Shutterstock/Jixin YU

Pubblicazione aperiodica distribuita gratuitamente nelle scuole, pubblicata da Pearson Italia S.p.A. Corso Trapani 16, 10139, Torino. L'editore è a disposizione per gli aventi diritti per eventuali non volute omissioni in merito a riproduzioni grafiche e fotografiche inserite in questo numero. Si autorizza la riproduzione elettronica e cartacea per l'uso didattico in classe.

Tutti i diritti riservati © 2016 Pearson Italia. www.pearson.it