

linux

MAGAZINE

Meraviglioso grafene

Da puro oggetto matematico a materiale pronto a rivoluzionarci il futuro

INTERVISTA

Staminali sicure

Graziella Pellegrini è stata tra le prime al mondo a mettere a punto una terapia efficace a base di cellule staminali: qui racconta come ci è arrivata.



INTERNET POINT
ATTENTI ALLA
PRIVACY

INFOGRAFICA
ENERGIE A
CONFRONTO

RIFLESSIONI
DIFENDERSI DAI
NEGAZIONISTI
SCIENTIFICI

ESPERIENZE
SPUNTI HANDS-ON
PER INSEGNARE
L'EVOLUZIONE

pagina 58

Fotografare il cielo notturno è una bella sfida ma anche un'esperienza affascinante. Oggi più che mai è un omaggio a Margherita Hack (Firenze, 12 giugno 1922 - Trieste, 29 giugno 2013), la prima donna a dirigere un osservatorio astronomico in Italia e considerata per anni la signora delle stelle.



Capire la scienza è capire un po' se stessi

Ogni scoperta scientifica e ogni nuova tecnologia ha offerto all'umanità l'occasione di ripensare il proprio rapporto con il mondo e ha stimolato riflessioni sullo statuto del sapere scientifico e sul significato delle sue applicazioni. L'invenzione dell'aratro e la fine del sistema tolemaico a favore della teoria eliocentrica sono esempi – quantomai diversi tra loro – di quanto la tecnologia e la scienza abbiano influenzato il nostro agire e pensare.

L'intervista a Graziella Pellegrini sulle rivoluzionarie terapie a base di staminali e l'articolo di Andrea Liscio sul grafene, un nuovo materiale che modificherà le nostre abitudini quotidiane, mostrano quale velocità di innovazione e quale complessità la scienza ha oggi raggiunto.

La riflessione di Telmo Pievani sulla difficoltà di comprendere e accettare le regole dell'indagine scientifica – e le conseguenze che queste portano nel nostro sistema di valori e nelle nostre credenze – e l'intervento di Pietro Greco sulle responsabilità che l'uomo ha nei confronti dell'ambiente e delle generazioni future

suggeriscono quanto sia utile una riflessione sull'impatto che le conoscenze scientifiche hanno sulla nostra visione del mondo e sulle nostre scelte.

Altri articoli, speriamo di altrettanto interesse, arricchiscono questo numero di *Linx Magazine*; ma la traccia di lettura che qui suggeriamo ci sta molto a cuore perché sottolinea il valore di quella che John Brockman ha identificato come la Terza Cultura, ovvero una via per il superamento della frattura tra le due culture, umanistica e scientifica, che ha per obiettivo valorizzare l'intreccio dei saperi come chiave interpretativa della realtà; potremmo aggiungere, come risorsa formativa per una cittadinanza consapevole, per un nuovo umanesimo.

Sembra più che mai attuale la definizione che Maurice Merleau-Ponty ha dato della filosofia se letta come una possibile descrizione della scienza moderna: «La filosofia è l'insieme delle questioni in cui colui che si interroga è lo stesso che viene messo in causa dalla questione».

MASSIMO ESPOSTI



SOMMARIO N.16 – OTTOBRE 2013



4
INTERVISTA
GRAZIELLA PELLEGRINI
RACCONTA

di Valentina Murelli

18
INTERNET POINT
ATTENTI ALLA
PRIVACY

di Tiziana Moriconi



10
FRONTIERE
IL MATERIALE
CHE NON
DOVEVA
ESISTERE

di Andrea Liscio

22
IDEE PER INSEGNARE
UNA QUESTIONE
DI TEMPO

di Vincenzo
Guarnieri

28
IN GITA!
PASSEGGIANDO
TRA I FIORI

di Renato Bruni



36
ESPERIENZE DIDATTICHE
INVESTIGARE GLI OCEANI

di Barbara Scapellato



34
NUMERI DI SCIENZA
L'ENERGIA CHE FA
GIRARE IL MONDO

di Laura Pulici



**41
ESPERIENZE DIDATTICHE
LE MANI SULL'EVOLUZIONE**

di Giulia Realdon



**44
IDEE PER
INSEGNARE
UN INCANTO
INESPRIMIBILE,
UNA PENA
SOAVE**

di Francesca Magni

**54
RIFLESSIONI
INVADENTE
MA COSCIENTE**

di Pietro Greco



**48
RIFLESSIONI
IL FASCINO
INDISCRETO
DELLE
PSEUDOSCIENZE**

di Telmo Pievani

**58
SCATTI DI
SCIENZA
E QUINDI
USCIMMO A
FOTOGRAFAR
LE STELLE**

di Luca Caridà

**60
UNO SCIENZIATO
AL CINEMA
L'ARTE DI VINCERE**

di Maurizio Codogno



**64
PRENDIAMOLA
CON FILOSOFIA
CIVILIZZATI O BARBARI?
LA DIFFICILE CONVIVENZA
TRA CULTURE**

di Fabio Cioffi



**62
ESPANSIONI**

direzione
Massimo Esposti

redazione
Valentina Murelli, Jacopo Cristini,
Marika De Acetis
linxmagazine@pearson.it
www.linxedizioni.it

hanno collaborato a questo numero
Renato Bruni, Luca Caridà,
Fabio Cioffi, Maurizio Codogno,
Pietro Greco, Vincenzo Guarnieri,
Andrea Liscio, Francesca E. Magni,
Federico Manicone, Tiziana Moriconi,
Valentina Murelli, Telmo Pievani,
Laura Pulici, Giulia Realdon,
Barbara Scapellato.

progetto grafico
Paola Lenarduzzi (studiopaola)

impaginazione
Patrizia Ne

disegni
Vito Manolo Roma

progetto grafico di copertina
Italik, Milano

immagine di copertina
Modello molecolare del grafene.
© Pasielka/Science Photo Library

distribuzione
Per ricevere Linx Magazine è
sufficiente compilare e spedire
il modulo in quarta di copertina,
oppure registrarsi, come docente, al
sito www.linxedizioni.it, scegliendo
fra i servizi l'abbonamento alla rivista.
Tutti i numeri sono disponibili online
in formato pdf sul sito
www.linxedizioni.it

Rivista aperiodica distribuita
gratuitamente nelle scuole,
pubblicata da
Pearson Italia S.p.A.

Si autorizza la riproduzione
dell'opera purché parziale
e a uso non commerciale.

L'editore è a disposizione degli
aventi diritto per eventuali non volute
omissioni in merito a riproduzioni
grafiche e fotografiche inserite in
questo numero.

Linx è un marchio di proprietà di
Pearson Italia S.p.A.

Corso Trapani 16
10139 Torino

RI636400204X
Stampato per conto della Casa
Editrice presso Arti Grafiche DIAL,
Mondovì (Cn), Italia

Tutti i diritti riservati
© 2013 Pearson Italia S.p.A.
www.pearson.it



Al lavoro con cornee e staminali

GRAZIELLA PELLEGRINI RACCONTA



CORTESIA HOLOSTEM

📍 Un lembo di epitelio corneale coltivato *in vitro*.

ATTIVITÀ DIDATTICA

Online le schede per lavorare in classe con questo articolo



link.pearson.it/E29ABCBC



VALENTINA MURELLI

È di nuovo un momento caldo per le cellule staminali. Al di là delle tante speranze, però, mettere a punto una terapia a base di staminali che sia davvero sicura ed efficace non è cosa da poco. Come insegna Graziella Pellegrini, tra le prime al mondo a riuscirci.



G Graziella Pellegrini

Ti ci devi rompere la testa per capire come funzionano le cose. Devi raccogliere più informazioni possibili su ogni singolo dettaglio. Devi studiare sempre e metterti in discussione un milione di volte

«**C**ome è andata oggi con il paziente di Milano?» Mentre mi fa strada lungo i corridoi del Centro di medicina rigenerativa di Modena, dove dirige la linea di lavoro sulla terapia cellulare, Graziella Pellegrini si affaccia come un turbine nello studio di un collaboratore per raccogliere le informazioni sulla giornata. Tra una *conference call* con colleghi lontani e l'intervista programmata per "Linx Magazine" il tempo è poco, ma il desiderio di sapere se va tutto bene la vince. Eppure Pellegrini non è un medico – docente di biologia applicata all'Università di Modena e Reggio Emilia, ha in tasca una laurea in chimica e tecnologie farmaceutiche e una in farmacia – e in questo centro all'avanguardia, di malati in carne e ossa non c'è traccia. Colta una certa perplessità nel mio sguardo, Pellegrini chiarisce che sta parlando di una biopsia della cornea di un paziente che ha subito una lesione della cornea stessa, appena arrivata in laboratorio. Qui il frammento di tessuto andrà incontro a un processo standardizzato per isolare le cellule staminali in esso contenute e moltiplicarle *in vitro* fino a rigenerare un nuovo tessuto da applicare sul paziente con l'obiettivo di fargli recuperare la vista. Medicina rigenerativa in azione, dunque, sotto forma di una terapia cellulare con staminali. Grazie al lavoro del team di Pellegrini e Michele De Luca (direttore del centro e marito), questa è ormai una realtà consolidata in Italia, avviata anche al percorso di certificazione europea. «Se faremo bene il nostro lavoro, la terapia

con staminali limbari per la ricostruzione della cornea diventerà la prima terapia con staminali distribuita in Europa» afferma con entusiasmo la ricercatrice, con un vago accento genovese che ne tradisce le origini e che tende a riaffiorare nei momenti più intensi dell'intervista. Come quando le chiedo un commento sulla "vicenda Stamina", che negli ultimi mesi ha riportato l'attenzione dell'opinione pubblica sulle cellule staminali. Ma partiamo dall'inizio della chiacchierata, sedute con calma nel suo studio, una piccola stanza colma di classificatori: «Sono i registri di tutti i dati e le procedure di laboratorio utilizzate negli ultimi 20 anni» dichiara Pellegrini, che ammette di essere un po' maniacale

quando si tratta di raccogliere e conservare dati. Sulla scrivania, il desktop del computer rimanda una foto di Pellegrini in compagnia del premio Nobel Shinya Yamanaka, il "papà" delle cellule staminali IPS.

Mi tolga una curiosità: perché chiama "pazienti" i tessuti e le cellule in coltura?

Perché vengono da lì, da esseri umani che hanno subito una lesione o sviluppato una malattia. Io ne sono consapevole e voglio che anche i miei collaboratori lo siano. Intanto per rispetto: non stiamo lavorando con cellule qualsiasi, ma con cellule che appartengono a una persona e che le devono essere restituite. Tra

PICCOLO RIPASSO SULLE STAMINALI

Esistono diversi tipi di cellule staminali. Vediamoli.

Le **cellule staminali embrionali** si ottengono dalla blastocisti, uno dei primi stadi dello sviluppo embrionale e hanno la capacità di dare origine a tutti i tipi cellulari di un organismo: sono dunque totipotenti. Crescono facilmente *in vitro*, ma la loro applicazione presenta dei limiti perché, proprio per la loro "esuberanza", una volta trasferite *in vivo* possono provocare l'insorgenza di tumore.

Le **cellule staminali adulte** si trovano in tessuti già sviluppati e differenziati (per esempio nella pelle, nel midollo osseo, nel cuore, nel fegato, nel muscolo), con il compito di mantenerli nel tempo. Sono pluripotenti, cioè possono dare origine solo a un numero limitato di tipi cellulari. Si isolano dal tessuto di origine e sono più difficili delle staminali embrionali da mantenere in laboratorio. Le staminali adulte sono le uniche utilizzate finora con successo in ambito terapeutico: staminali ematopoietiche per il trattamento di malattie del sangue (leucemie e linfomi); staminali epiteliali per la ricostruzione della cornea; staminali mesenchimali per la ricostruzione di osso e cartilagine.

Infine vanno citate le **cellule staminali IPS** (pluripotenti indotte). Sono cellule adulte che, tramite particolari procedure messe a punto da Shinya Yamanaka (vincitore per questo del premio Nobel per la medicina nel 2012) "ringiovaniscono" allo stadio di staminali totipotenti. Sono molto simili alle staminali embrionali (con il vantaggio di non dover distruggere embrioni per ottenerle), ma la loro applicazione clinica si sta rivelando particolarmente complessa.



VALENTINA MURELLI

Giornalista e redattrice scientifica freelance. Collabora con varie testate, tra le quali "Le Scienze", "Il Fatto Alimentare", "Oggi Scienza", "L'Espresso", "Meridiani".

Noi vediamo gli epiteli come una barriera ma sono molto di più, perché sono organi di senso che "dicono" al cervello che cosa succede nell'ambiente esterno

l'altro, una persona che ha sofferto ed è arrivata a noi, alla medicina rigenerativa, come ultima spiaggia. E poi perché avere ben presente il paziente aiuta a indirizzarsi subito all'approccio clinico, che è molto diverso da quello della ricerca di base. C'è una logistica diversa, ci sono tempi diversi (30 ore al massimo per processare una biopsia, 36 ore per impiantare un nuovo tessuto ricostruito) e anche quello che ti devi aspettare dalle cellule è diverso, perché devono fare esattamente quello che vuoi tu.

Come funziona la terapia che avete messo a punto?

In teoria è abbastanza semplice. Noi lavoriamo sulla cornea, un epitelio trasparente che riveste la parte dell'occhio che noi vediamo colorata a causa dell'iride sottostante, consentendo l'ingresso della luce e contribuendo alla messa a fuoco. Intorno alla cornea c'è la congiuntiva, una membrana mucosa ricca di vasi sanguigni e dunque opaca e al confine tra le due strutture si trova il *limbus*, una sottile striscia contenente cellule staminali della cornea. Supponiamo che si verifichi una lesione, per esempio per contatto con una sostanza chimica aggressiva, che distrugge la superficie oculare e quindi l'epitelio corneale e il limbus. Il primo obiettivo dell'organismo è chiudere la ferita e poiché, in tal caso, le cellule staminali corneali sono in gran parte distrutte, si attivano quelle della congiuntiva, che però fanno crescere altra congiuntiva, cioè un tessuto opaco: l'occhio si infiamma, diventa biancastro e non ci vede più. Noi abbiamo individuato una soluzione: se in uno dei due occhi è rimasto anche solo un piccolo frammento integro di limbus – ne basta un millimetro – possiamo provare a ricostruire *in vitro* la cornea.

È la famosa biopsia, come quella appena arrivata da Milano...

Esatto: il frammento viene prelevato con un piccolo intervento in anestesia locale, inserito in una soluzione speciale e inviato al nostro centro.

Qui per prima cosa controlliamo che non ci siano contaminazioni batteriche e poi trattiamo il tessuto con enzimi e altre sostanze per dissociare le singole cellule, che sono infine coltivate su un substrato certificato di fibroblasti di topo irraggiati con raggi X perché non siano in grado di proliferare. Le cellule si moltiplicano e ciascuna dà origine a una colonia: quando le colonie sono cresciute fino a toccarsi, stratificano e formano un epitelio, che congeliamo in attesa che il paziente sia pronto per l'impianto. Quando è tutto a posto, scongeliamo l'epitelio ed effettuiamo una serie di controlli per misurare quante staminali contiene, qual è il grado di differenziamento corneale raggiunto, qual è l'efficienza clonale; infine ricoltiviamo le cellule su un supporto di fibrina modificata in modo da renderla elastica, trasparente e adesiva e mandiamo tutto al chirurgo. Il medico rimuoverà la congiuntiva biancastra dalla cornea danneggiata del paziente e appoggerà sull'occhio il nuovo tessuto. In vivo, la fibrina si degraderà velocemente e la nuova cornea comincerà a lavorare. Sono passati più di 10 anni dai primi impianti e i dati parlano chiaro: 66-76% di successi completi; 13-19% di successi parziali; 10-14% di insuccessi. Significa che circa tre pazienti su quattro che avevano perso la vista tornano a vedere.

Diceva che la procedura in teoria è semplice. E in pratica?

Tutto il contrario! Ci sono voluti anni di tanto – ma tanto – lavoro per riuscire. Anni di energia, di passione, a volte di disperazione. Di serate e fine settimana chiusi in laboratorio. Di notti insonni passate ad aspettare con ansia i risultati dei primi impianti. Io e Michele De Luca ci abbiamo messo non solo il lavoro, ma la vita e, come noi, grandi chirurghi come Paolo Rama al San Raffaele e Alessandro Lambiase o Augusto Pocobelli a Roma. Il fatto è che si tratta di cellule estremamente complicate, che la natura ha sviluppato in milioni di anni di evoluzione e non si può essere affrettati e superficiali. Ti ci devi proprio rompere la testa per capire come funzionano le cose. Devi raccogliere più informazioni possibili su ogni singolo dettaglio. Devi studiare sempre e metterti in discussione un



IL CASO STAMINA

Febbraio 2013: una serie di servizi della trasmissione tv *Le Iene* porta all'attenzione dell'opinione pubblica l'attività di Davide Vannoni e della sua Fondazione Stamina. Vannoni, professore associato di psicologia generale all'Università di Udine, dichiara di aver messo a punto un metodo innovativo per estrarre cellule staminali dal midollo osseo, moltiplicarle in laboratorio e farle differenziare in vari tipi cellulari. L'infusione di queste cellule sarebbe in grado di trattare – e in alcuni casi curare – varie decine di malattie, tra le quali malattie neurodegenerative gravissime come l'atrofia muscolare spinale di tipo 1 (SMA1) e la leucodistrofia metacromatica. Ai microfoni delle Iene i genitori della piccola Celeste, affetta appunto da SMA1, raccontano i miglioramenti della bimba dopo i trattamenti, ricevuti presso gli Spedali Civili di Brescia. E in effetti le uniche “prove di efficacia” del metodo sono proprio di tipo aneddotico. Non c'è altro: nessuna pubblicazione scientifica, nessun brevetto, nessun protocollo noto.

È naturale che, di fronte alla diagnosi di una malattia invalidante e magari letale, pazienti e familiari cerchino di aggrapparsi a qualunque speranza, ma il metodo non convince tutti, anzi. Già nel 2009 il procuratore aggiunto di Torino Raffaele Guariniello aveva aperto un'inchiesta a carico di Vannoni e del suo staff, ipotizzando il reato di truffa, mentre l'Istituto superiore di sanità e l'Agenzia italiana del farmaco bocciarono Stamina senza appello, giudicando inadeguate le procedure di manipolazione delle cellule e ritenendo le staminali di Vannoni potenzialmente pericolose. E ancora, la rivista scientifica “Nature” accusa Vannoni di frode scientifica, scoprendo che in una domanda di brevetto depositata nel 2010 sono presenti immagini identiche a quelle pubblicate alcuni anni prima da altri ricercatori.

Pur nello sconcerto del mondo scientifico – che ritiene il metodo inaffidabile e non verificato – il Parlamento italiano decide infine di avviare una sperimentazione del metodo Stamina. Soldi – tanti, circa 3 milioni di euro – buttati al vento, secondo la maggior parte dei ricercatori, compresa la dirigenza della Società internazionale di ricerca sulle cellule staminali. In ogni caso, dopo una certa riluttanza di Vannoni, restio a consegnare i suoi protocolli di lavoro e insoddisfatto delle condizioni poste dal Ministero della Salute, i giochi ormai sono fatti e la sperimentazione è pronta a partire. Non resta che aspettare.



milione di volte, mantenendo la consapevolezza che quello che sai è solo una minima parte di quello che servirebbe sapere. Proprio per questo, quella minima parte la devi conoscere tutta: è l'unico modo per poter controllare abbastanza l'esito degli eventi. Ogni passaggio della terapia con staminali limbari è stato studiato nei dettagli, dalle soluzioni per il trasporto della biopsia alla modalità di manipolazione delle cellule. Per ogni paziente trattato, sappiamo che caratteristiche aveva la sua biopsia, in quali condizioni e per quanto tempo ha viaggiato, quali marcatori molecolari esprimevano le sue cellule, chi le ha manipolate in laboratorio, chi forniva i reagenti utilizzati. Insomma, tutto. Anche perché, non potendo standardizzare il prodotto finale, cioè il tessuto, come si fa con i farmaci, bisogna per forza standardizzare il processo di produzione.

Eppure a livello regolatorio le cellule staminali sono equiparate proprio a farmaci.

Certo, nel senso che, come per i farmaci, il paziente deve avere la garanzia che il trattamento che riceve è sicuro e ci deve essere qualcuno che certifica questa sicurezza. Però ci sono differenze fondamentali rispetto ai farmaci tradizionali. Per esempio: immaginiamo delle fiale medicinali appena prodotte e mantenute in magazzino prima della distribuzione. La normativa prevede che se ne prenda qualcuna a caso e la si analizzi per verificare che è tutto a posto e che non ci sono differenze tra una fialetta e l'altra. Con un tessuto questo non lo posso fare: sia perché per definizione i tessuti di diversi pazienti sono diversi uno dall'altro, sia perché quando un tessuto è pronto lo devo subito inviare al chirurgo, non posso tenerlo in attesa di ulteriori controlli (quelli microbiologici richiedono giorni).



📍 Il Centro di
Medicina
Rigenerativa
"Stefano Ferrari"
(CMR) dell'Università
degli Studi di
Modena e Reggio
Emilia.

TRA PUBBLICO E PRIVATO

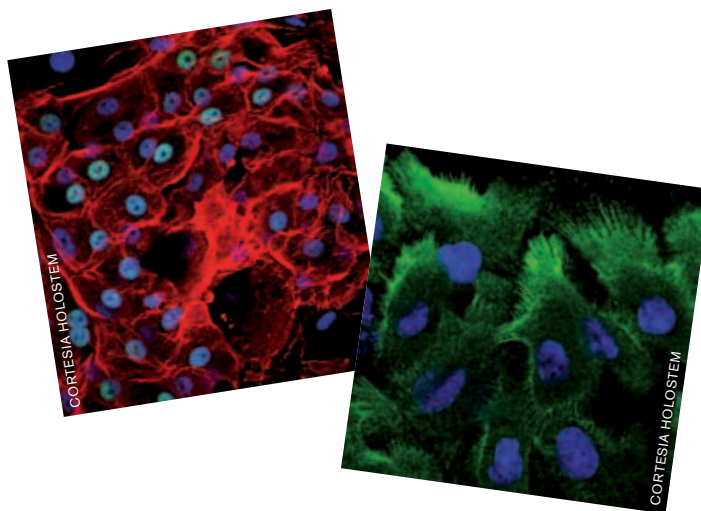
Con il suo rivestimento "a pelle di giraffa" nei toni del verde e dell'azzurro non passa certo inosservato il Centro di medicina rigenerativa Stefano Ferrari dell'Università di Modena e Reggio Emilia (www.cmr.unimore.it), realizzato nel 2008 grazie a un ingente investimento della Fondazione cassa di risparmio di Modena. Un centro di eccellenza dedicato allo studio delle cellule staminali epiteliali e alla loro applicazione clinica in terapie cellulari e geniche. Dell'aspetto applicativo si occupa in particolare Holostem Terapie Avanzate (www.holostem.com), uno spin-off nato dall'incontro tra la realtà pubblica universitaria e quella privata dell'azienda Chiesi Farmaceutici. «Mettere insieme realtà diverse significa anzitutto abbattere i costi di gestione, altissimi per una struttura che deve operare secondo le norme di Good Manufacturing Practices (GMP), previste per l'industria farmaceutica. Ma i benefici non si fermano qui» spiega Graziella Pellegrini, che dirige il settore ricerca e sviluppo dello spin-off. «Da un lato, l'azienda ha a disposizione tutte le occasioni di aggiornamento offerte dall'università, dagli abbonamenti alle riviste scientifiche alle lezioni, all'expertise dei docenti. Dall'altro, l'università può contare su condizioni di lavoro già standardizzate, che migliorano la qualità della ricerca, anche di base». E i vantaggi ci sono anche per gli studenti: «I più brillanti, quelli con idee originali, hanno la possibilità di metterle alla prova in azienda e di avviare subito una buona carriera».

Oltre che della terapia cellulare con staminali limbari per la ricostruzione della cornea, ormai già a regime, centro e spin-off si occupano della messa a punto di nuovi protocolli per l'utilizzo clinico di cellule staminali dell'epidermide e di cellule staminali dell'epitelio uretrale, della bocca e della trachea, per la chirurgia ricostruttiva dell'uretra, del cavo orale e delle vie aeree superiori. Un'altra linea di ricerca riguarda la terapia genica per il trattamento di malattie genetiche della pelle (come l'epidermolisi bollosa) e degli epitelii oculari. E non è tutto: si sta mettendo a disposizione di altri gruppi l'esperienza acquisita nel trasferimento clinico, perché anche altre terapie possano arrivare velocemente ai pazienti.

Ecco allora che a garanzia del paziente ci deve essere la standardizzazione del processo di produzione.

Volevo chiederle un commento sulla “vicenda Stamina”, ma mi sembra che questo discorso sui controlli, sulle standardizzazioni, sulla cura maniacale dei protocolli parli da sé...

Sì, non ci sono scorciatoie. Quella del rigore, dell'accuratezza, dello studio approfondito, del confronto serrato con la comunità scientifica è l'unica via possibile. Davide Vannoni, l'ideatore del cosiddetto metodo Stamina, è un abile comunicatore, ma non ha preparazione medica. Il suo metodo non compare né in pubblicazioni né in brevetti. Non c'è nulla che attesti che funziona e a quali condizioni. E poi me lo lasci dire (e qui Pellegrini si infervora, NdR): se uno propone un'unica terapia valida per decine di malattie – dalla leucodistrofia metacromatica al Parkinson, dall'Alzheimer alle lesioni del midollo spinale – a me qualche dubbio sull'efficacia viene. Noi ci abbiamo messo anni per selezionare la categoria di pazienti sulla quale la terapia funziona bene e oggi i momenti più critici sono proprio la diagnosi della lesione e la caratterizzazione accurata del tessuto da impiantare. Per esempio, abbiamo scoperto che se il tessuto ricostruito non contiene almeno 3000 staminali, probabilmente l'impianto non andrà a buon fine e dunque è inutile farlo. Insomma, ogni paziente deve poter essere libero di scegliere la terapia, ma prima di tutto ha il diritto di essere correttamente informato sui fatti, non sulle chiacchiere sensazionalistiche. E c'è un altro aspetto: in questo campo non si può pensare che qualcuno – medico o ricercatore che sia – metta a punto da solo un metodo efficace. Questo è un lavoro di squadra e vi partecipano professionalità differenti: biologi, farmacologi, medici, magari anche ingegneri o matematici. Anzi, ecco un messaggio che mi sento di mandare alla scuola: che insegni ai ragazzi a lavorare in team, perché è fondamentale per qualsiasi progresso.



➔ **L'attività di Holostem Terapie Avanzate è focalizzata sull'applicazione clinica di colture di cellule staminali epiteliali in terapia cellulare e genica.**

A proposito di formazione: lei come è passata dalla chimica alle staminali?

Avendo scelto di studiare chimica (e in particolare chimica farmaceutica) ho sempre avuto una grande passione per la terapia e la medicina e dal primo giorno di università ho avuto ben chiaro in testa che non volevo dedicarmi alla sintesi di molecole, ma all'applicazione delle terapie, dunque all'aspetto farmacologico. Così ho fatto una tesi in farmacologia molecolare, portando avanti le ricerche anche con la seconda laurea in farmacia. Poco a poco mi sono avvicinata ad ambiti sempre più propri della biologia. Avrei anche preso una terza laurea ma, in quegli anni erano obbligatori gli esami di zoologia, con tutti quei vermi e insetti disgustosi da studiare! E comunque ormai avevo cominciato a lavorare, spostandomi in vari istituti per imparare più cose possibili sulle colture cellulari. Quando mi sono imbattuta negli epitelii è stato subito un grande amore. Li amo perché sono molto reattivi, trasmettono segnali in continuazione. Noi li vediamo come una barriera ma sono molto di più, perché

PER APPROFONDIRE

- G. Corbellini, *Staminali tra scienza, politica e speranza*, in "Linx Magazine", vol. 10, 2011. link.pearson.it/959D8C2A
- M. Sampaolesi, *Le cellule staminali. Tra scienza, etica ed usi terapeutici*, Il Mulino, Bologna 2011.



sono organi di senso che “dicono” al cervello che cosa succede nell'ambiente esterno.

Anche *in vitro* le cellule epiteliali segnalano moltissimo, il che impone una grande cautela. Queste cellule sentono tutto (come le manipoli, quanto tempo le lasci in coltura, a che velocità le risospendi) e reagiscono di conseguenza. Però questo è anche il loro fascino: lavorando con le cellule epiteliali, hai la sensazione di avere per le mani la vita. ➔

IN RETE!

UniStem Pagina dedicata alla divulgazione del sito web del Centro di ricerca sulle cellule staminali dell'Università di Milano. Ospita segnalazioni e approfondimenti adatti a tutti sul tema staminali. link.pearson.it/C94DD90



IL MATERIALE che non doveva esistere

ANDREA LISCIO



LONG WEI/EPA/CORBIS

Il punto sul grafene, il materiale del momento, che promette di rivoluzionarci la vita nei più diversi settori, dalla scienza dei materiali alle terapie mediche. Tanto che l'Unione europea gli ha dedicato un progetto da un miliardo di euro.

↑ Aerogel di grafene. Così leggero da essere sostenuto da un fiore.

Nel grafene gli elettroni di conduzione si comportano come se non avessero massa e viaggiano all'incirca alla velocità della luce, obbedendo alle leggi della fisica quantistica relativistica

Uno scienziato, una matita e del nastro adesivo. Che cosa accomuna questi elementi? Semplice, il grafene. Un nuovo materiale dalle proprietà eccezionali che fa sognare gli scienziati di tutto il mondo e che presto potrebbe cambiare profondamente la nostra quotidianità.

Isolato per la prima volta nel 2004 da Andrej Gejm e Konstantin Novosëlov dell'Università di Manchester (come vedremo, grazie a semplice scotch), ha portato i due ricercatori già nel 2010 al premio Nobel per la fisica: un caso piuttosto raro, considerato che in genere tra una scoperta pur fondamentale e l'assegnazione del Nobel passano diversi decenni. Ma perché tanto interesse? Che cos'ha il grafene di straordinario e perché è così importante?

Un insieme di doti eccezionali

Il grafene è un materiale bidimensionale (2D) costituito da un singolo strato di atomi di carbonio che si dispongono a formare esagoni regolari come la struttura di un nido d'api. Praticamente un foglio dello spessore di un atomo. In genere, in natura questi fogli tendono a impilarsi formando come dei block-notes che, saldati tra loro, danno origine alla comune grafite, un materiale facilmente reperibile utilizzato per ottenere le mine delle matite. In particolari condizioni, però, si possono ottenere fogli singoli.

Il grafene mostra numerose proprietà eccezionali: è 100 volte più resistente del diamante, è un ottimo conduttore di elettricità e di calore, è stabile (perciò non arrugginisce) e ha proprietà elettroniche migliori di quelle del silicio comunemente utilizzato nei transistor, nonostante sia il materiale più sottile esistente in natura. Dunque è leggero ma densissimo, trasparente, duttile e incredibilmente versatile.

Elettroni superveloci

L'origine di tali proprietà è legata alla sua peculiare struttura elettronica. In genere, gli elettroni di conduzione in un metallo, cioè quelli responsabili delle proprietà di trasporto elettrico, vengono descritti come particelle di un gas che "sbattono" ripetutamente contro gli ioni del metallo stesso. Nei comuni metalli tridimensionali (3D) la velocità di Fermi degli elettroni di conduzione, ossia la velocità delle particelle tra

due urti successivi, è circa 1000 km/s. Nel grafene, invece, gli elettroni di conduzione si comportano come se non avessero massa e viaggiano all'incirca alla velocità della luce (300 000 km/s). Essi obbediscono alle leggi della fisica quantistica relativistica conferendo al singolo foglio di grafene di dimensioni micrometriche proprietà elettriche e meccaniche completamente diverse da quelle dei metalli 3D, oppure osservabili in questi metalli solo in condizioni "estreme", come temperature prossime allo zero assoluto (-273,15°C) e strutture di pochissimi atomi.

L'uovo di Colombo

Anche la storia della scoperta del grafene è molto intrigante. Dagli anni quaranta agli inizi degli anni 2000, per gli scienziati si trattava di un materiale che non avrebbe dovuto esistere (considerazioni termodinamiche indicavano che fosse meccanicamente instabile e che avrebbe dovuto collassare a temperatura ambiente), ma del quale allo stesso tempo si conoscevano teoricamente le proprietà elettroniche. Per oltre 50 anni il grafene è stato quindi soltanto un oggetto matematico, un oggetto virtuale sul quale un paio di generazioni



PHOTO ULLA MONTAN



PHOTO GAEME COOPER

Gejm e Novosëlov nel 2010 sono stati insigniti del Nobel per la fisica per la scoperta del grafene.



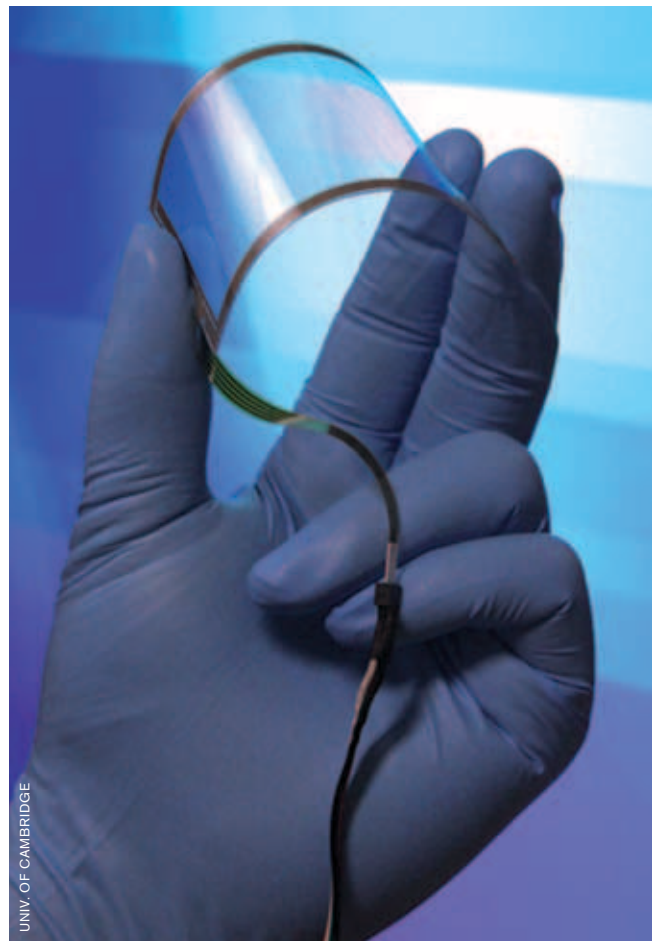
Sistemi a elevatissima area superficiale come il grafene sono candidati ideali per la realizzazione di una nuova generazione di batterie elettriche più potenti

di fisici ha affinato modelli fisico-matematici sempre più complessi per la descrizione della struttura della materia condensata e dello stato solido. Tali sforzi hanno permesso di accumulare un bagaglio teorico enorme che è stato immediatamente utilizzato quando, a partire dal 2004, il grafene è diventato un oggetto reale. In quell'anno i due futuri premi Nobel riuscirono a isolare un singolo foglio di grafene strappando ripetutamente la grafite con del comune scotch [1]. Il passo successivo è stato quello di *vedere* il grafene, cosa non banale data la sua estrema sottigliezza. Per fortuna, però, si tratta di un materiale che mostra un ottimo contrasto ottico quando viene depositato su un substrato di silicio ricoperto da uno strato di ossido spesso poche centinaia di nanometri. Perciò, per osservare un foglio di grafene con dimensioni laterali di pochi micron basta un semplice microscopio ottico.

Ricapitolando, il grafene si può ottenere in modo molto semplice in un laboratorio partendo da materiali comuni e può essere facilmente studiato nei laboratori di tutto il mondo, tanto che è stato definito "un uovo di Colombo".

Una ricerca molto vivace

Ma qual è lo stato attuale della ricerca sul grafene? Possiamo ormai considerare completata quella di base, a favore di aspetti più applicativi? Le sfide scientifiche e tecnologiche da affrontare sono ancora innumerevoli, ma il periodo iniziale di indagine delle proprietà fondamentali (meccaniche, elettriche, magnetiche ecc.) del materiale, portato avanti soprattutto da fisici, può essere considerato superato. Benché la ricerca di base attuale sia ancora attivissima e dedicata allo studio di nuovi fenomeni non osservabili nei "comuni" materiali, si è entrati in una nuova fase di studio, ancora più complessa e interdisciplinare.



➔ Schermi flessibili come possibile frontiera della ricerca sul grafene.

Oggi il materiale viene "affrontato" da una comunità di scienziati sempre più ampia, che va dagli ingegneri ai medici, e che si occupa di molteplici problematiche: dall'interazione con gli altri materiali allo sviluppo di sistemi compositi, dagli studi di biocompatibilità alla realizzazione di dispositivi elettronici su ampia scala. Grande sforzo è centrato sulla possibilità di trasferire le eccezionali proprietà del singolo foglio a oggetti 3D, con dimensioni macroscopiche (sino ai metri quadrati), che possano essere adoperati tutti i giorni.

Funzioni differenti per contesti differenti

Elencare le principali ricerche e applicazioni è comunque lavoro complicato e quasi inutile, dato che circa ogni ora nel mondo viene pubblicato un nuovo lavoro scientifico a riguardo. È invece molto interessante e proficuo correlare le funzionalità del materiale con l'approccio descrittivo utilizzato. Pensiamo alla radiazione elettromagnetica, che in meccanica quantistica può essere descritta contemporaneamente come una particella (fotone)

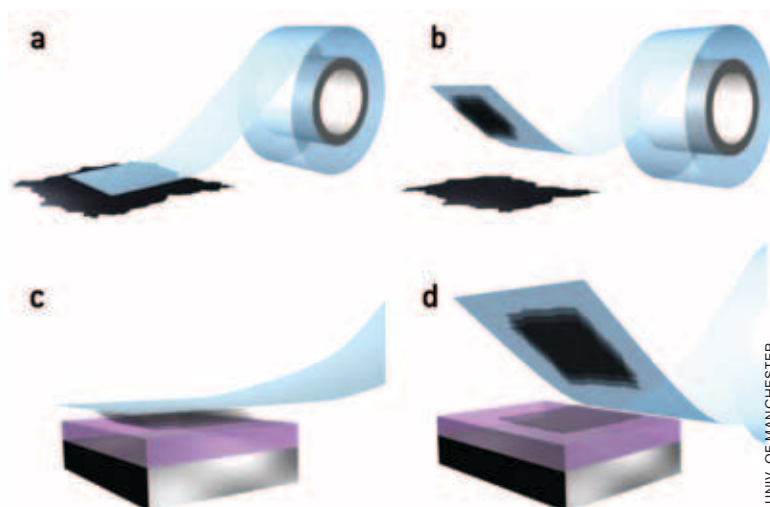
I rappresentanti politici italiani hanno capito l'importanza del grafene e accettato la sfida internazionale, sostenendo un consorzio europeo per lo studio e lo sviluppo del materiale

o come un'onda, con i due diversi approcci che permettono di spiegare diversi comportamenti. Bene, possiamo applicare un metodo analogo per descrivere il grafene, utilizzando differenti punti di vista per mettere in risalto differenti funzioni. In particolare, risulta molto utile descrivere il grafene di volta in volta come una superficie, una molecola oppure un materiale.

Come una superficie

La descrizione come superficie è quasi immediata: qualsiasi foglio può essere descritto come un oggetto che è tutta superficie, dove lo spessore e i bordi sono trascurabili. In questo senso, il grafene può essere considerato materiale ideale per rivestimenti: una sorta di vernice sottilissima che, per esempio, permette di proteggere i metalli dalla corrosione e dall'ossidazione o le fibre dei vestiti dallo sporco, oppure di modulare le proprietà delle giunzioni elettroniche (le interfacce tra semiconduttori che sono alla base dei componenti elettronici) senza aumentare le dimensioni dei dispositivi. Uno tra i campi più attivi della ricerca riguarda l'utilizzo del grafene per la realizzazione di schermi flessibili per cellulari e computer, campo esploso con i dispositivi touch-screen. L'obiettivo è arrivare a sostituire materiali più costosi e rigidi come l'ossido di indio (ITO), non molto facile da reperire e le cui riserve sono stimate sufficienti solo per i prossimi 20 anni. Tutte queste applicazioni sono già realtà e il loro utilizzo nei dispositivi commerciali è previsto nel giro di qualche anno.

⬇️ L'illustrazione dei 4 semplici passaggi che permisero di isolare il grafene.



UNIV. OF MANCHESTER

Come una molecola

Il secondo approccio, quello molecolare, è più legato alla chimica di sintesi e tende a descrivere il materiale come una piattaforma che può essere selettivamente funzionalizzata, modificando i legami chimici degli atomi di carbonio con l'incorporazione di atomi e gruppi chimici diversi (idrossili, carbossili ecc.). La funzionalizzazione permette di modificare a piacere le proprietà di solubilità del grafene, rendendone possibile lo stoccaggio e il trasporto in forma liquida: un aspetto molto interessante dato che il grafene non è solubile. In altri casi, si possono legare al grafene molecole fluorescenti da utilizzare come marcatori per applicazioni biomedicali. E ancora, funzionalizzare il grafene può significare impiegarlo come substrato per la crescita di strutture biocompatibili (cioè ben tollerate da parte di un organismo). Di recente, per esempio, è stato osservato che le cellule mesenchimali si aggrappano con grande efficienza su substrati grafenici: una peculiarità che apre la strada alla realizzazione di impalcature cellulari a base grafenica per una ricostruzione accelerata dell'osso.

Come materiale per realizzare compositi

Il terzo approccio permette di considerare il grafene come un materiale che può essere maneggiato, modificato e miscelato. Sin dalla preistoria, l'essere umano ha realizzato leghe e materiali compositi come il bronzo, una lega di rame e stagno. Negli ultimi decenni i grandi avanzamenti nella scienza dei materiali hanno reso possibile la realizzazione di materiali speciali "su misura", che per esempio hanno trasformato il settore aeronautico e automobilistico. Basti pensare alle scocche delle auto di Formula 1 che resistono a urti frontali a oltre 100 Km/h oppure all'ultimo aereo Boeing 787 Dreamliner la cui struttura, più leggera ma



TUTTA UNA QUESTIONE DI BORDI

Il grafene è di moda. Complice l'enorme successo, si tende a indicare come grafene qualsiasi materiale con pochi atomi di carbonio in forma esagonale tanto che, per esempio, da qualche anno anche gli idrocarburi policiclici aromatici sono diventati più accattivanti "nanografeni". Uno dei motivi principali dell'ubiquità del grafene sta proprio nell'utilizzo piuttosto "elastico" del suo nome: un fatto che in realtà dipende anche dalla mancanza di una classificazione rigorosa del materiale e delle sue innumerevoli proprietà.

In effetti, a ben guardare, la definizione di grafene come singolo foglio di atomi di carbonio non è sufficiente, dato che il foglio non è infinito, ma delimitato da bordi che possono modificare pesantemente le proprietà elettroniche dell'insieme. A differenza dei materiali 3D, ove possiamo distinguere tra atomi di superficie che interagiscono con l'ambiente e atomi interni praticamente inerti, il grafene presenta tutti i suoi atomi in superficie e per questo è intrinsecamente sensibilissimo agli altri materiali con i quali viene a contatto. Nelle condizioni semplificate in cui i fisici in genere collocano i loro oggetti di studio (nel caso del grafene per esempio ambienti di ultra-alto vuoto, fogli sospesi e così via), i problemi dei bordi, della reattività di superficie e delle modifiche dovute al contatto con altri materiali possono essere selettivamente studiati. Ma passando dal laboratorio alla realtà le cose si complicano. E a maggior ragione lo fanno se vogliamo costruire dispositivi elettronici o sviluppare applicazioni biomedicali. Senza contare che in questo caso gli elementi in gioco sono tre, perché oltre all'interazione grafene-cellula bisogna considerare il contributo della soluzione acquosa in cui la cellula vive. E non è tutto perché, come abbiamo visto, il foglio di grafene può essere funzionalizzato, per fargli acquisire proprietà differenti. Ecco perché, al posto della parola grafene, sarebbe più corretto utilizzare l'espressione "classe di materiali a base grafenica".

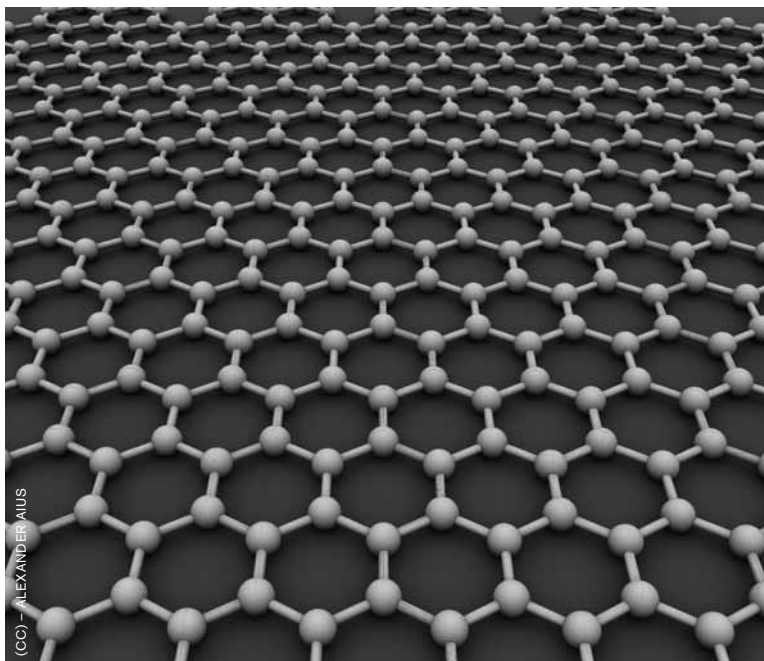
con migliori proprietà meccaniche compressive, è composta di metallo solo per il 40%.

Il primo prodotto industriale di largo consumo contenente grafene è stata una racchetta da tennis: il nuovo materiale composito permette una differente distribuzione della massa all'interno della racchetta, rendendola più facile da manovrare e consentendo colpi più potenti. In Emilia Romagna di recente alcune aziende hanno cominciato a sviluppare vernici e ceramiche a base grafenica che permetteranno di realizzare nuove superfici antistatiche o conduttive.

Un campo in cui il grafene sembra molto promettente e sul quale aziende come Samsung e Apple sono attivissime riguarda lo stoccaggio dell'energia. Il mezzo più comune per immagazzinare energia elettrica è la batteria, in cui cariche elettriche di segno opposto vengono accumulate su due elettrodi metallici separati: maggiore è la superficie disponibile, maggiore è la quantità di cariche accumulate, migliore è la qualità di stoccaggio. Per questo motivo, sistemi a elevatissima area superficiale come il grafene sono i candidati ideali per la realizzazione di una nuova generazione di batterie più potenti, con durata superiore e tempi di ricarica minori. E ancora: il grafene intrappola e stabilizza con efficienza l'idrogeno, un combustibile pulito (ma facilmente infiammabile) dal quale si può ottenere energia. L'idea è quella di utilizzare il reticolo di carbonio come una sorta di rete nanoscopica per intrappolare l'idrogeno e controllarne il successivo rilascio mediante stimoli elettrici.

Un problema tecnico...

La fase odierna della ricerca sul grafene è quindi un magma di idee e sfide ai più diversi livelli: scientifico, tecnologico, economico e addirittura geopolitico. Per esempio, se da una parte, come abbiamo visto, può essere semplice produrre un singolo foglio di grafene in laboratorio, realizzare una produzione industriale non è al momento né



➔ Schema di un foglio di grafene con struttura esagonale degli atomi di carbonio.



ANDREA LISCIO

È fisico. Ricercatore a tempo determinato presso il CNR-ISOF di Bologna, studia sistemi molecolari autoassemblanti e composti grafenici. Attualmente è Project Manager del progetto europeo GENIUS dedicato alla formazione di giovani ricercatori nell'ambito del grafene.

facile né economico. Esistono almeno nove metodologie di fabbricazione dei materiali grafenici: approcci di tipo meccanico, elettrochimico, in liquido o in vuoto, di crescita o di deposizione. Le diverse tecniche permettono di ottenere materiali con un diverso grado di purezza. Per questo non si tratta solo di ingegnerizzare il metodo migliore, dal momento che ciascuno può produrre grafeni utili per applicazioni diverse. Il problema principale è capire qual è la strada più adatta per i diversi sforzi produttivi.

... e uno geopolitico

Non da meno è la questione geopolitica. Il punto è che tutti gli attuali apparecchi elettronici portatili contengono materiali rari come il neodimio o leghe speciali come il coltran (una miscela complessa di columbite e tantalite) che sono molto costosi e spesso presenti solo in pochissimi paesi. La Cina produce da sola oltre il 90% dei 17 metalli strategici riuniti sotto la definizione di "terre rare", limitando ormai da anni le forniture, con effetti drammatici sui prezzi, in alcuni casi addirittura decuplicati nel giro di 2-3 anni [2]. La possibilità di sostituire questi materiali con il grafene è un obiettivo non troppo nascosto dei paesi occidentali, che puntano così a ridurre la loro dipendenza strategica verso altri paesi.

La sfida dell'Europa

Tutto ciò fa capire quanto sia necessario un coordinamento il più vasto possibile dei vari approcci al grafene. Scienza, ricerca, industria sono tasselli che si intersecano e che dovrebbero essere coordinati in modo da sfruttare al meglio tutte le risorse. Questo è uno dei compiti della politica della ricerca, intesa come gestione dei vari apparati produttivi manifatturieri e di conoscenza.

I rappresentanti politici italiani hanno capito l'importanza del grafene e accettato la sfida internazionale, sostenendo con successo un consorzio europeo dedicato allo studio e allo sviluppo del materiale. Nel 2010, infatti, l'Unione europea ha lanciato un bando per selezionare due progetti strategici decennali con i principali obiettivi di elevate ricadute scientifico-tecnologiche, economiche, industriali, lavorative e sulla qualità di vita dei cittadini. Sei progetti sono arrivati alla selezione finale, venendo giudicati da una serie di commissioni composte da esperti internazionali scientifici, economici e finanziari[3]. Tra questi, uno sul quale l'Unione europea ha deciso di puntare è appunto dedicato al grafene: il progetto decennale Flagship Graphene [4] è stato annunciato il 28 gennaio 2013, con un finanziamento record complessivo di un miliardo di euro.

Il foglio da un miliardo di euro

Si tratta di un progetto congiunto senza precedenti, che coinvolge 126 gruppi di ricerca tra enti, università e industrie di 17 paesi europei, e che vede l'Italia in prima fila con il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) nel consorzio dei nove soggetti coordinatori. Come dice Luigi Nicolais, presidente del CNR, «con questo progetto anticipiamo importanti pezzi di futuro, assicurando all'Europa un ruolo da protagonista nello studio e nell'utilizzo, industriale e commerciale, del grafene». Enorme è l'aspettativa e riuscire a mantenere le promesse sarà la vera sfida. D'altra parte sembra essere proprio questa la missione del grafene: vivere una vita spericolata, da materiale che non doveva esistere a materiale da un miliardo di euro. ➔

RIFERIMENTI



- 1 Filmato sulla preparazione del grafene. link.pearson.it/12DC77C
- 2 M. Farina, *Gallio, Indio e Tantalio, scontro sotterraneo tra potenze globali*, in "La lettura", link.pearson.it/762AF7EA
- 3 FET Flagship Pilots. link.pearson.it/9F4952DF
- 4 Graphene Flagship. link.pearson.it/714733F3

IN RETE!



- Atomi, quark & Co.** Attività educational della Nobel Prize Foundation sulla struttura della materia. link.pearson.it/E1F82E62
- ChemMatters Video** Episodio video dedicato al grafene (è il numero 10) della sezione Education dell'American Chemical Society, con tanto di scheda didattica per i docenti. link.pearson.it/96FF1EF4



Clil - Approfondimento in lingua inglese

OCTOBER 22, 2004: DISCOVERY OF GRAPHENE

Scientists often find ingenious ways to attain their research objectives, even if that objective is a truly two-dimensional material that many physicists felt could not be grown. In 2003, one ingenious physicist took a block of graphite, some Scotch tape and a lot of patience and persistence and produced a magnificent new wonder material that is a million times thinner than paper, stronger than diamond, more conductive than copper. It is called graphene, and it took the physics community by storm when the first paper appeared the following year.

The man who first discovered graphene, along with his colleague, Kostya Novoselov, is Andre Geim. Geim studied at the Moscow Physical-technical University and earned his PhD from the Institute of Solid State Physics in Chernogolovka, Russia. He spent two years at the Institute for Microelectronics Technology before taking a fellowship at Nottingham University in England. In 1994, he joined the faculty at the University of Nijmegen in the Netherlands, moving back to England's University of Manchester in 2001 to become director of the Centre for Mesoscience and Nanotechnology.

Geim has a knack for quirky yet significant research subjects. He made headlines in 1997 when he used a magnetic field to levitate a frog, garnering him an Ig Nobel Prize in 2000. He once co-authored a paper with his favorite hamster, "Detection of earth rotation with a diamagnetically levitating gyroscope," insisting that "H. A. M. S. ter Tisha" contributed to the levitation experiment "most directly." [...] And in 2007 his laboratory developed a microfabricated adhesive mimicking a gecko lizard's sticky footpads.

Geim has said that his predominant research strategy is to use whatever research facilities are available to him and try to do something new with the equipment at hand. He calls this his "Lego doctrine": "You have all these different pieces and you have to build something based strictly on the pieces you've got." In the case of graphene, his lab was well-equipped for the study of small samples.

Carbon nanotubes were—and are—a major area of materials research, and Geim thought it might be possible to do something similar to carbon nanotubes, only in an unfolded configuration. He had the idea to polish down a graphite block to just 10 or 100 layers thick and then study the material's properties. One of his students was assigned the task, and produced a speck of graphite roughly 1000 layers thick—a little short of the mark.

That is when Geim had the idea to use Scotch tape to peel away the top layer. Flakes of graphite come off onto the tape, and the

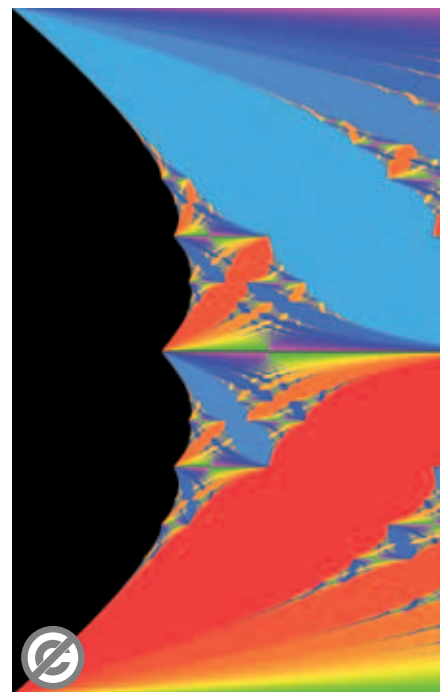
process can be repeated several times to achieve progressively thinner flakes attached to the tape. He then dissolved the tape in solution, leaving him with ultra-thin flakes of graphite: just 10 layers thick. Within weeks, his team had begun fabricating rudimentary transistors with the material. Subsequent refinements of the technique finally yielded the first graphene sheets. "We fooled nature by first making a three-dimensional material, which is graphite, and then pulling an individual layer out of it," said Geim.

In October 2004, Geim published a paper announcing the achievement of graphene sheets in *Science* magazine, entitled "Electric field effect in atomically thin carbon films." It is now one of the most highly cited papers in materials physics, and by 2005, researchers had succeeded in isolating graphene sheets. Graphene is a mere one atom thick—perhaps the thinnest material in the universe—and forms a high-quality crystal lattice, with no vacancies or dislocations in the structure. This structure gives it intriguing properties, and yielded surprising new physics.

[...]

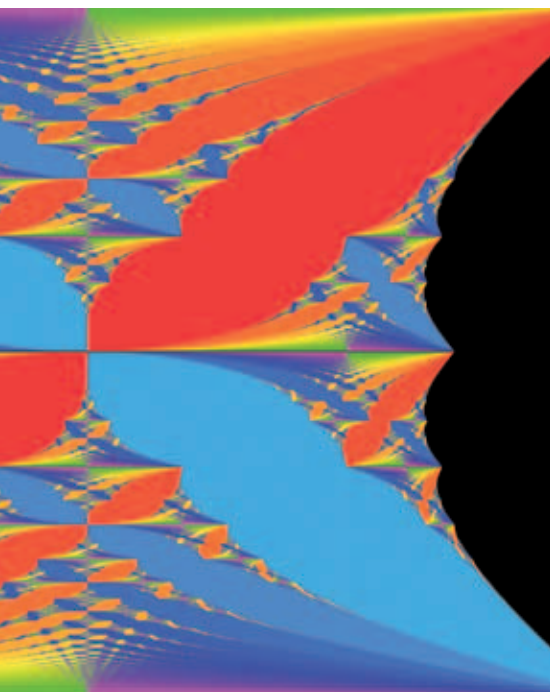
Graphene may even have the power to tame Geim's notorious five-year itch: that is how frequently he has tended to change research topics in the past. Yet he has even set aside his promising gecko tape research to focus predominantly on graphene, which he admits is by far the most scientifically significant of his results. "With graphene, each year brings a new result, a new sub-area of research that opens up and sparks a gold rush," Geim told *Science* in 2007. "I want to put many more stakes in the ground before it's covered completely, before all the interesting science is claimed and taken. Then it will be time to move on."

From This Month in Physics History,
link.pearson.it/7B3EA6D4





Ora tocca a te



G Farfalla di Hofstadter a colori. L'asse orizzontale è l'energia (o potenziale chimico) e l'asse verticale rappresenta il flusso magnetico attraverso la cella elementare. Nel 2013 viene trovata la struttura a Farfalla di Hofstadter nel grafene.

mentre un altro è addirittura un pianeta del nostro Sistema solare.

3. Il legame fra grafene e matematica si è manifestato anche tramite i frattali. Nel 1976 Douglas Hofstadter, studiando come si distribuivano i livelli energetici degli elettroni di una struttura atomica bidimensionale avente un potenziale periodico e sottoposta a intensi campi magnetici, scoprì che essi si disponevano secondo una struttura frattale. Questa struttura è conosciuta come la "farfalla di Hofstadter" ed è rimasta un puro oggetto teorico fino a poco tempo fa. Di recente, un gruppo di ricercatori è riuscito a materializzare questo frattale proprio nei livelli energetici degli elettroni del grafene: scopri di chi si tratta, sapendo che il loro lavoro è stato pubblicato dalla rivista "Nature". Cerca inoltre informazioni su Douglas Hofstadter: quale suo testo è un riferimento internazionale della divulgazione dell'Intelligenza Artificiale?

4. Nella "corsa" per la scoperta di nuovi materiali figura anche il silicene, simile al grafene ma composto di atomi di silicio. Quando e da chi è stato realizzato? Può rappresentare un concorrente del grafene? Motiva la risposta dopo aver eseguito una ricerca in rete per reperire informazioni su questa recente scoperta.

SCIENZA E SOCIETÀ

1. Nella storia del grafene, un fatto che di sicuro colpisce è la velocità con la quale è stato assegnato il premio Nobel ai suoi scopritori. Per rendersi conto di quanto tempo di solito uno scienziato deve aspettare per vincere il prestigioso

riconoscimento basta informarsi, per esempio, su alcuni premi Nobel per la fisica e per la chimica; cerca quelli italiani e calcola gli anni di "attesa" di Giulio Natta, Riccardo Giacconi o Carlo Rubbia. Scoprirai che qualcuno ha aspettato poco e qualcun altro un po' di più. Di sicuro chi ha aspettato molti anni il Nobel (per la medicina) è stata Rita Levi Montalcini. Per che cosa lo ha ricevuto e quanto ha dovuto attendere? Perché, secondo te, spesso passa così tanto tempo tra una scoperta e l'assegnazione del premio?

2. L'impatto sulla società, l'economia e la politica dovuto al grafene sarà importante, dall'elettronica fino al fotovoltaico. Prova a elencare le possibili conseguenze sia sulla vita quotidiana sia sui rapporti tra le nazioni a livello mondiale. Ci sarà un "prima e dopo" come è successo per la plastica e per il petrolio? Raccogli in uno schema sintetico i dati principali sulle società "prima e dopo" plastica, petrolio e grafene.

SCRIVERE DI SCIENZA

Il grafene fa pensare alla famosa *Flatlandia* dell'omonimo racconto di Abbott, un mondo bidimensionale abitato da quadrati, cerchi e altre figure geometriche. Immagina una storia che si svolga su un piano di grafene 2D nella quale i protagonisti siano enti fisici, come elettroni quasi senza massa che possono viaggiare alla velocità della luce e così via. Un mondo esagonale molto reattivo che al contatto con una membrana cellulare potrebbe cambiare le sue caratteristiche o addirittura disgregarsi. Un mondo trasparente, denso e leggero... Cerca di utilizzare tutte le informazioni possibili che dal mondo della scienza del grafene possa portarti a quello della fantasia per inventare una storia avvincente. L'importante è basarsi su dati veritieri; cerca di mantenere la correttezza scientifica anche quando parli di situazioni e vicende immaginarie.

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Il grafene può essere osservato anche soltanto con un microscopio ottico perché è in grado di assorbire una quantità sufficiente di luce bianca da risultare visibile alle sue lenti. Di solito, invece, per poter raggiungere i reticoli cristallini dei materiali e i livelli atomici bisogna ricorrere ad altri tipi di microscopi e ad altri metodi con un grado di risoluzione maggiore. Quali? Con quali strumenti si osserva la struttura interna della grafite oppure del diamante, che sono entrambi costituiti da atomi di carbonio ma non sono indagabili con il microscopio ottico?

2. Un aspetto molto interessante dell'avventura scientifica del grafene è che in un primo momento sia esistito solo a livello matematico. Il potere di previsione della matematica è stato già verificato in altri casi della storia della scienza. Quali altri oggetti fisici sono stati prima "calcolati" e previsti e poi scoperti nella realtà? Uno è proprio recente e fa parte del mondo delle particelle elementari,

ATTENTI ALLA PRIVACY

TIZIANA MORICONI

Usate il nome del gatto come password per Facebook e il cognome di nonna per la funzione *reset password*? Allora non ci siamo. Web, social network e dispositivi *mobile* sono strumenti grandiosi, ma attenzione: i dati vanno sempre protetti bene.



David è seduto davanti al pc del Professor Falken. «Qual era il nome di suo figlio?» Jennifer scorre un ritaglio di giornale: «Oh, Joshua».

«Non può essere così semplice», mormora il ragazzo mentre digita 'Joshua' nella casella della password. Ed è dentro.

È un passaggio di *Wargames-Giochi di Guerra*, uno dei film culto degli anni ottanta per gli smanettoni, e in quella frase – “non può essere così semplice” – è riassunta una grande verità: la maggior parte delle persone non sa proteggere i propri dati e la propria privacy. Ma l'ingenuità costa cara, anche (e soprattutto) al tempo di Facebook. Per attraversare gli angoli più oscuri del Web ci siamo fatti scortare da due Caronte digitali: Antonio Forzieri, esperto di sicurezza informatica di Symantec, importante azienda di software per la protezione dei dati digitali, e Riccardo Meggiato, autore del blog *Hackinsider* (link.pearson.it/6EFAFD68) per *Wired.it*.

Quanto è social il cybercrime

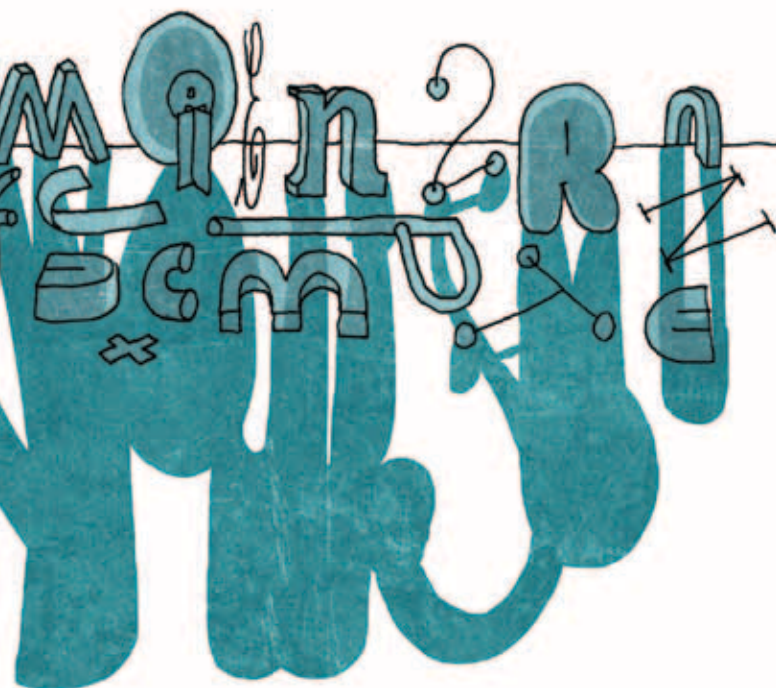
Più 252%. È l'aumento degli attacchi informatici registrato nel 2012 rispetto al 2011 nel nostro paese, che è anche il primo in Europa per numero di *zombie*, quei terminali di cui gli hacker prendono possesso (senza che il proprietario se ne accorga), per usarli come nuovi punti di attacco. Sono i numeri contenuti nell'ultimo rapporto Clusit (Associazione italiana per la sicurezza informatica, www.clusit.it), presentato a marzo a Milano. E

secondo il Norton Cybercrime Report (uno studio condotto su 13 000 adulti in 24 paesi tra i quali l'Italia) di Symantec [1], ben 8,9 milioni di utenti italiani (cioè consumatori e non imprese) lo scorso anno hanno imparato sulla loro pelle di cosa stiamo parlando. Le frodi ai danni di queste persone sono quantificabili in 2,45 miliardi di euro. E tutti gli analisti dicono la stessa cosa: le ultime tendenze del crimine informatico sono *social e mobile*. Smartphone e tablet sono ormai attaccati quanto i classici terminali (sebbene con differenze tra le piattaforme) e le app sono spesso i nuovi, involontari, cavalli di Troia. Un caso eclatante è stato quello di Ruzzle, il popolare gioco di parole: lo scorso gennaio, l'azienda Hacktivity Security aveva scoperto una falla in una versione del programma che trasformava la chat di Ruzzle in un punto di accesso per i malintenzionati, che avrebbero potuto leggere i messaggi degli utenti e mandarne a loro nome.



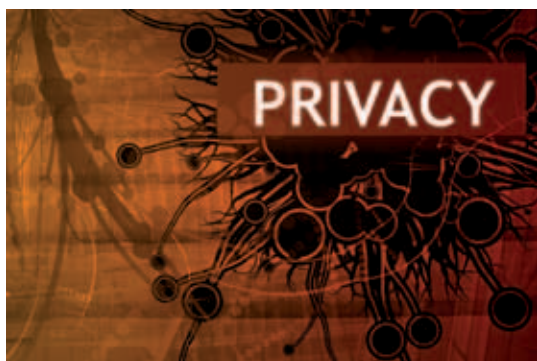
Guarda l'approfondimento online link.pearson.it/CE7760B4





Le colpe degli utenti

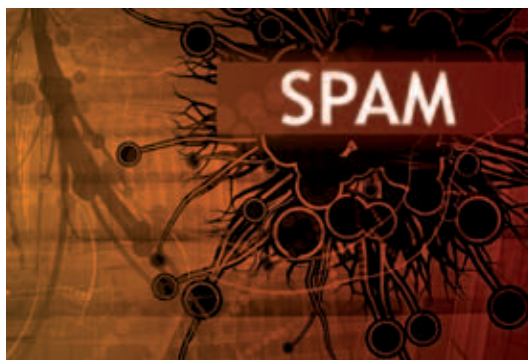
Torniamo ai numeri di Symantec. Quattro su dieci dei malcapitati sono stati pizzicati all'interno di un social network. In un caso su sei è stato violato l'account e sono state compiute azioni dal profilo personale, mentre tre utilizzatori su dieci hanno ricevuto messaggi sospetti che sembravano inviati dai loro amici, ma non lo erano. A lasciare la porta aperta ai criminali informatici sono spesso gli utenti stessi: uno su tre non setta le impostazioni elementari di privacy sui social network, e due su tre non si preoccupano di proteggere i propri dati quando si connettono da un dispositivo mobile. Perché? Perché non abbiamo ancora ben compreso i rischi e siamo ignoranti digitali: quasi la metà degli intervistati nel rapporto di Symantec non sa che i *malware* possono essere silenziosi e ritiene di non essere stato attaccato solo perché il computer non ha mai "rallentato". E poi c'è il problema delle



password: il 44% degli italiani si ostina a usare codici prevedibili, magari sempre la stessa parola e magari facilmente riconducibile alla propria persona. Nell'estate del 2012, Yahoo Voice, un servizio di Yahoo!, è stato hackerato e i dati sensibili di oltre 453 000 persone sono stati pubblicati: username e password associate, tutto in chiaro. Questo episodio basta a far capire perché le password dovrebbero essere univoche e cambiate come lo spazzolino da denti.

P@ssw0rd

Chiedetelo a Mat Honan, giornalista di *Wired Us* a cui hanno letteralmente smantellato la vita digitale in un'ora, che cosa pensa delle password. Foto e ricordi perduti per sempre, tutto per rubargli l'account Twitter (ora, non a caso, sulla piattaforma di microblogging si fa chiamare "May be Mat Honan"). Lui – che, potete scommetterci, non usava codici banali – non ha dubbi: «L'era delle password è finita». Se hanno avuto un senso fino a oggi è solo perché gli obiettivi della cybercriminalità organizzata erano altri. Ma adesso che i pesci piccoli, cioè gli utenti, sono così tanti e facili da pescare, fanno parecchia gola. «Vero. Però noi non siamo Honan e questo fa la differenza», ci dice Meggiato: «Non esistono password sicure al 100%, ma al 99% sì. Non perché non le si possa *craccare*, ma perché agli hacker, che nella maggior parte dei casi guadagnano sulla quantità, non conviene spendere



troppo tempo con un utente x, a meno che non sia un capo di Stato. Insomma qualcuno proprio nel loro mirino. Quindi si danno un limite di tempo: oggi provo a entrare in mille computer e a ciascuno dedico un tot di tempo e di potenza, poi mollo il colpo. È una questione di rapporto costi/benefici: una password forte, di almeno 12 caratteri alfanumerici e con simboli e variazioni tra maiuscole e minuscole, abbassa all'inverosimile le probabilità di essere violata, perché i programmi ci metterebbero troppo tempo a indovinarla».



TIZIANA MORICONI

giornalista, scrive per "Galileo", "Wired.it" e "D web".



Il cognome di mamma no

Certo, verrebbe da dire, una parte di responsabilità l'hanno anche i servizi online, che finora ci hanno permesso di usare codici poco sicuri. Un altro loro punto debole è la funzione *reset password*, che di solito prevede una domanda personale di sicurezza per accertare la nostra identità. Non penserete mica che sia saggio scegliere il nome da nubile di vostra madre, o il nome della scuola elementare? Anche se decidiamo di non rivelare nulla di noi sui social network, basta che qualcuno ci *tagghi* in una foto di ex compagni di classe, o che lo zio ci includa nella cerchia dei familiari su Google+. La risposta, come capirete, non sarebbe poi così segreta. Ultimamente, per fortuna, si sta diffondendo l'uso della "verifica a due passaggi": se qualcuno chiede il reset della password, viene inviato all'utente via sms un codice aggiuntivo. Gmail e Facebook, per esempio, hanno un'opzione di sicurezza che invia questo codice ogni volta che qualcuno cerca di accedere all'account da una postazione diversa da quella che si utilizza di solito.



Spiati!

Ma davvero c'è chi si metterebbe a incrociare le informazioni online per rubare un account? Ebbene sì, il fenomeno esiste da sempre e si chiama *social engineering* (ingegneria sociale): sono le tecniche psicologiche con le quali si ottengono i dati

DECALOGO DEI COMPORTAMENTI DIGITALI

1. Le password devono essere lunghe almeno 8 caratteri, e contenere maiuscole, minuscole, numeri e caratteri speciali. Ricorda di cambiare spesso le password e di non usare la stessa per più di un servizio.
2. Alle domande di sicurezza per il recupero delle password, dai risposte senza senso e che non possano essere dedotte dagli account di social network.
3. Mantieni sempre aggiornato il tuo computer (sistema operativo e applicazioni).
4. Utilizza una soluzione di sicurezza per proteggere il tuo pc.
5. Setta le impostazioni di privacy su ogni servizio, dai social network ai servizi di posta.
6. Non accettate url o allegati da sconosciuti.
7. Controlla gli url dei link contenuti nei messaggi, anche se a mandarteli è un amico
8. Leggi le condizioni di utilizzo e cerca di capire come vengono usati i tuoi dati prima di accettare un servizio.
9. Non pensare che se il computer è veloce non sia infetto: oggi malware sono silenziosi e l'obiettivo non è più mandare in palla il terminale.
10. Quando accedi a una rete Wi-Fi pubblica, controlla che le url dei siti inizino con https prima di inserire dati sensibili, altrimenti vuol dire che non vengono crittografati durante la trasmissione.



PAROLE CHIAVE

Botnet Rete formata da terminali infettati (zombie).

Hacker È una sorta di pirata digitale. La parola, però, non ha sempre una accezione negativa.

Cracker Il significato è lo stesso di hacker, ma in questo caso indica sempre un cybercriminale.

Malware Software malevolo, come virus, spyware, worm, trojan.

Phishing Frode finalizzata all'acquisizione, per scopi illegali, di dati riservati. Il furto di identità viene realizzato attraverso l'invio di email contraffatte, con la grafica ed i loghi ufficiali di aziende ed istituzioni, che invitano il destinatario a fornire informazioni personali.

Smishing Nuovo sistema per rubare denaro e informazioni riservate con il cellulare. Attenzione agli sms che invitano a scaricare immagini, giochi, suonerie e a collegarsi a siti web.

Spam Ricezione di messaggi non autorizzati (generalmente commerciali) nella propria casella di posta.

NB: Alcune definizioni provengono dal sito delle Poste Italiane.

sensibili. Della serie, perché faticare a craccarti la password della banca, quando posso andare a sbirciare dove l'hai scritta o farmela addirittura dare da te? «Anni fa – racconta Meggiato – gli hacker puntavano una vittima e la spiavano. Facevano appostamenti e sbirciavano persino nella sua spazzatura per ottenere informazioni. Per diversi anni abbiamo sentito parlare poco del social engineering, ma con l'esplosione dei social network sta tornando di moda.»
Come funziona? Prendiamo lo *spear phishing*, per esempio. Come si legge sul sito di Norton, i criminali informatici «passano in rassegna i siti di social network, trovano il tuo indirizzo e-mail, l'elenco degli amici e un post recente in cui parli della nuova fotocamera che hai acquistato su un sito. Utilizzando queste informazioni, uno spear phisher potrebbe spacciarsi [...] per un addetto del rivenditore online e chiederti di reimpostare la password o di verificare il numero della tua carta di credito».

Pericoli reali

Non sono solo gli adulti ad avere scarsa consapevolezza dei rischi. «I nativi digitali il più delle volte non hanno idea della potenza della tecnologia con cui sono cresciuti», ci dice Forzieri, che collabora spesso con la Polizia postale. «Cadono nelle trappole perché non le riconoscono. Ma in una scuola sempre più digitale, docenti e genitori devono fare la loro parte, che riguarda anche la competenza informatica: i virus stanno crescendo a dismisura ed è importante sapere quello che sono in grado



di fare. Possono entrarti nello smartphone e scaricarti la rubrica, inserire numeri di telefono sconosciuti, leggere gli sms e le mail, fare chiamate a numeri a pagamento e consumarti il credito, scaricare altri programmi malevoli, cliccare sui banner delle pubblicità. Oppure ti geolocalizzano: se qualcuno può tracciarti, può sapere dove incontrarti o quando non sei in casa, e imparare le tue abitudini.» Anche se non si ha una carta di credito, i problemi cui si va incontro sono comunque reali, non virtuali. Come ci si protegge?

Norme di buon senso

Qui entra in gioco il nostro comportamento sul Web. «Per il programma di cittadinanza attiva, la scuola potrebbe insegnare che cosa sono il phishing e lo spam, dove e come salvare le informazioni, quanto sono sicuri i servizi a cui ci affidiamo e perché non è il caso di condividere tutta la nostra vita online», continua Forzieri. «Spiegare ai ragazzi come avviene una truffa o che fine possono fare le informazioni e le fotografie che postano con tanta leggerezza è già di grande aiuto. È strano dirlo, ma valgono sempre le vecchie regole della nonna, a cominciare dal “non parlare con gli sconosciuti”, che si traduce in “non accettare l’amicizia di chi non conosci, anche se è nella cerchia di altri amici”. Se ricevi una mail in cui ti si promette un’offerta in cambio dei tuoi dati, pensa a cosa faresti se la proposta arrivasse da uno sconosciuto incontrato per strada. Impara a riconoscere un url sospetto, e se ti arriva un link, controllalo prima di cliccare.»

Caduti dalle cloud

Esiste un altro aspetto da considerare: le casseforti a cui stiamo affidando la nostra vita digitale non sono sicure al 100%. Parliamo delle *cloud*, i server in rete sempre più diffusi (anche Gmail e Facebook sono servizi nella nuvola). «È una tecnologia nuova, arrivata in fretta e c’è un grandissimo sforzo commerciale per utilizzarla, ma sul fronte della sicurezza e della privacy è stato fatto poco», spiega Meggiato. Da una parte c’è il problema dell’utilizzo dei nostri dati: «Quasi mai viene detto in modo chiaro se e come vengono usati, e quando è esplicitato si scoprono cose strane. Per esempio che se cancelliamo

A LEZIONE DI PRIVACY

In rete si trovano molte informazioni per creare un piccolo corso di “alfabetizzazione sulla privacy” per gli studenti. Il sito del Garante per la privacy (www.garanteprivacy.it) è perfetto per cominciare il percorso: si potrebbe partire dal questionario che viene proposto per misurare quanto si è preparati alle insidie dei social network (link.pearson.it/F7F3ACD2). Sul sito si trovano sia materiale preparato apposta per gli alunni – in particolare un vademecum e un’animazione sui social media (*Connetti la testa*, link.pearson.it/78B38A6), e un secondo video esplicativo (*Fatti smart!*, link.pearson.it/708C0830) per l’uso sicuro dei dispositivi *mobile* – sia informative (anche di carattere legale) per il cittadino, con definizioni ed elenchi dei diritti per la protezione della propria privacy e delle responsabilità nei confronti degli altri. Una guida ancora più completa su come proteggere i propri dati – da come scegliere una password all’uso dei firewall, arrivando persino alla valutazione dell’Internet Provider – si trova sul sito del Ministero della Difesa, sotto la voce “Cyber Security Tips” (link.pearson.it/80F49C44). Infine, un buon elenco dei rischi che si possono correre online è presente sul sito delle Poste Italiane (link.pearson.it/104B81D5).



un’immagine, questa non viene rimossa immediatamente dai server. Oppure che i nostri dati possono essere ceduti a terzi». In generale, quando sottoscriviamo un servizio gratuito, cloud o meno, bisognerebbe sempre porsi un paio di domande: in che modo ci guadagna lo sviluppatore che me lo offre? Che ci fa con i dati mi sta chiedendo? L’altro problema riguarda i bug: «Se qualcuno entra nel sistema, può prendere dati e immagini e magari rivenderseli. Un blocco di mezzo milione di email è quotato circa mille euro». Si scoprono continuamente nuove falle nei sistemi cloud. Vengono riparate in fretta, ma ovviamente alcune informazioni possono essere rubate o rese pubbliche. «Servizi come Skype, Wetranfer o Dropbox sono utilissimi e relativamente sicuri, ma non infallibili. La tranquillità con cui possiamo affidargli i dati dipende da quanto questi sono sensibili», conclude Forzieri. Insomma, i codici e le password non vanno appuntate su Google Docs. ➔

RIFERIMENTI

1 2012 Norton Cybercrime Report, link.pearson.it/674CB143.



Una questione di **TEMPO**



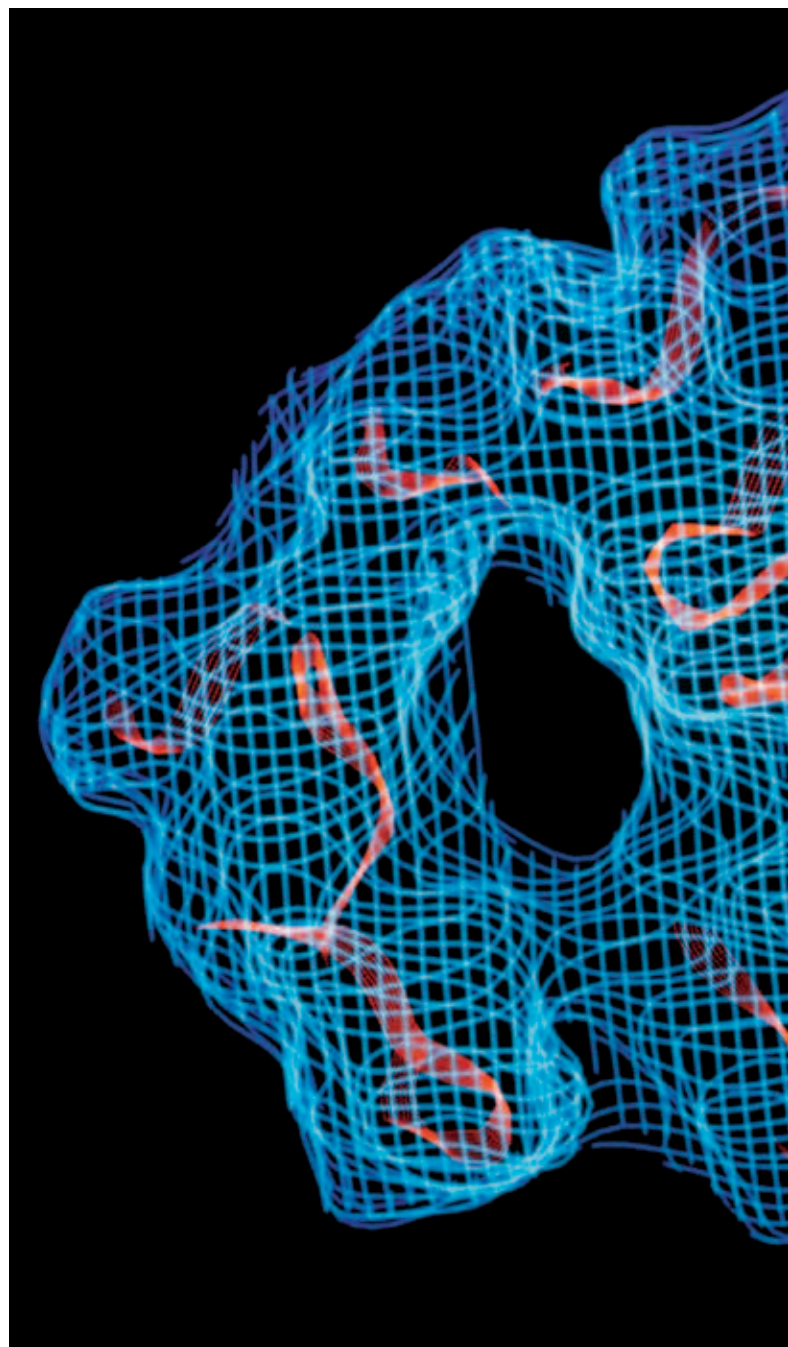
VINCENZO GUARNIERI

Ancora una volta, una prospettiva storica aiuta a inquadrare in modo efficace un argomento di chimica. Protagonisti di questo articolo sono gli enzimi, dalla loro scoperta alle ricerche più attuali, e la cinetica chimica.

Un sistema molecolare prodotto in laboratorio, in grado di catturare l'energia del Sole e impiegarla per scindere l'acqua in idrogeno e ossigeno, più o meno come fanno le foglie delle piante. È la fotosintesi artificiale [1], uno degli obiettivi più ambiti nel campo più vasto della ricerca sui catalizzatori "biomimetici". Le conoscenze sempre più approfondite sui meccanismi con i quali avvengono le reazioni chimiche nei sistemi biologici, dalle cellule di una foglia a quelle del nostro fegato, hanno spinto i ricercatori a imitarne qualcuna per gli scopi più disparati, dalla produzione di energia a quella di digestivi. La "mimesi" avviene quasi sempre a opera di un particolare tipo di molecole, gli enzimi. L'evoluzione storica delle conoscenze su queste macromolecole fondamentali per la vita fornisce il contesto in cui si inserisce la ricerca sui nuovi catalizzatori. E permette di riprendere da una prospettiva diversa i concetti della cinetica chimica, come velocità di reazione, stato di transizione, energia di attivazione e, ovviamente, catalisi, ovvero il fenomeno per il quale un catalizzatore aumenta la velocità di una reazione.

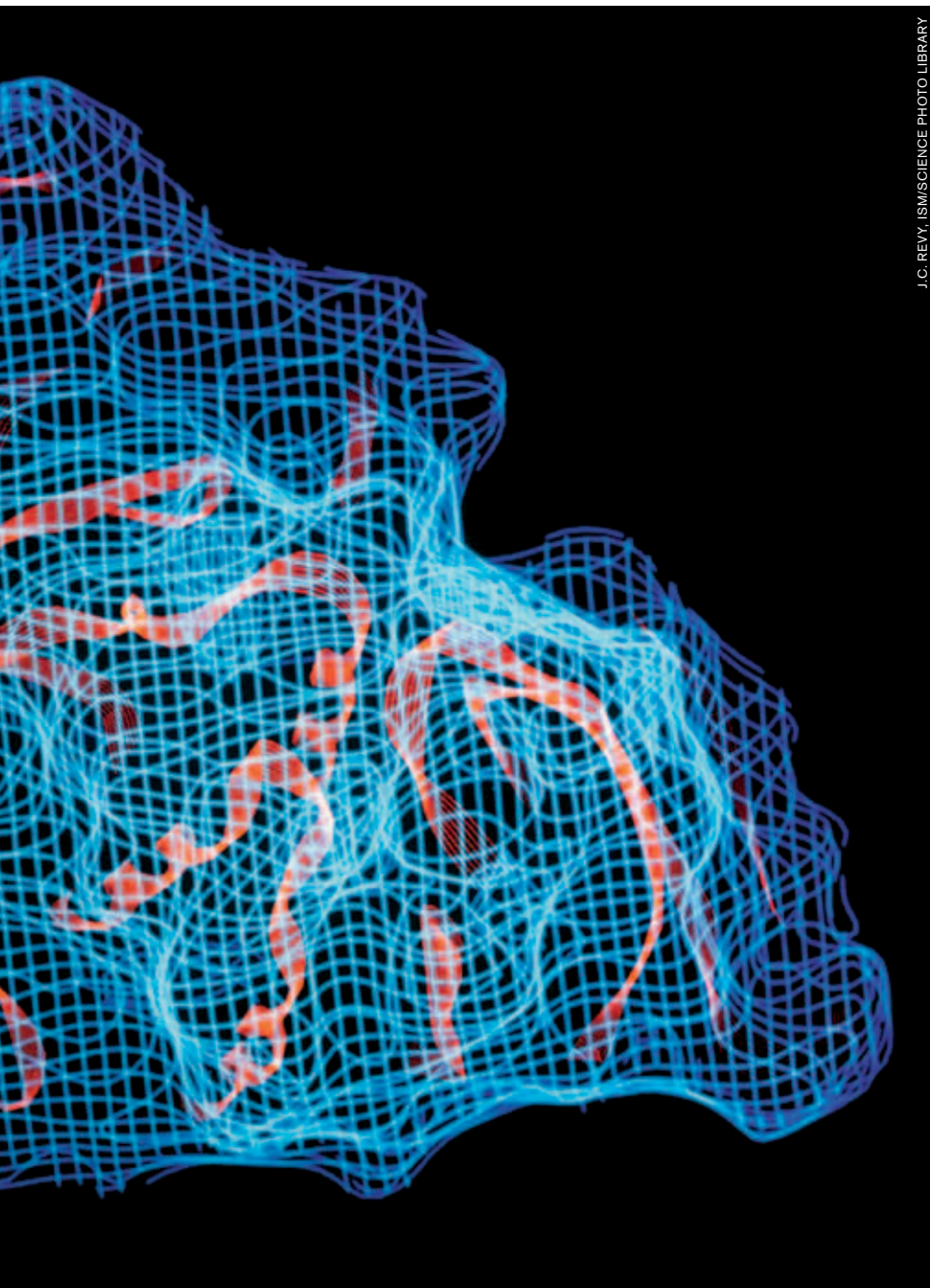
Una forza vitale

La scoperta dell'oggetto molecolare "enzima" ha segnato la nascita della biochimica, ma non si è trattato di un parto facile. È stato necessario che alcuni fenomeni diventassero familiari ai chimici: anzitutto quello della catalisi, la cui prima definizione è del chimico svedese Jöns Jacob Berzelius. In un rapporto del 1836 Berzelius afferma che «nelle piante e



📌 **Rappresentazione grafica di α amilasi, enzima deputato al catabolismo di amido, glicogeno e polisaccaridi.**

La scoperta dell'oggetto molecolare "enzima" ha segnato la nascita della biochimica, ma non si è trattato di un parto facile



J.C. REVY, ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY

ATTIVITÀ DIDATTICA

Online le schede per lavorare in classe con questo articolo



link.pearson.it/88CA49A7

negli animali viventi migliaia di processi catalitici hanno luogo». La causa di tali processi si sarebbe trovata nella "forza catalitica" presente nei tessuti organici e, quindi, negli organismi. Anche se impregnata di vitalismo, tale "forza" ha rappresentato un mezzo molto efficace per riconoscere la presenza e il ruolo dei catalizzatori nei processi vitali e non solo.

Dalla sopravvivenza all'industria

L'essere umano ha sempre "giocato" a rallentare o accelerare le reazioni

chimiche, anche se non conosceva i fondamenti della catalisi così come li conosciamo oggi.

Lo faceva semplicemente per sopravvivere, sostenendo e regolando il suo metabolismo attraverso le proprie abitudini, *in primis* quelle alimentari (si pensi al consumo delle piante curative: la melissa, per esempio, viene impiegata tradizionalmente per le sue proprietà calmanti dovute almeno in parte alla presenza di una varietà di sostanze organiche in grado di inibire l'azione della

tiroide). Oppure inventando processi per la produzione di beni che nel tempo sono diventati parte integrante di queste abitudini.

Per rimanere in tema alimentare, basti pensare al vino o alla birra. Quando, in epoca recente, si è trovato in mano lo strumento concettuale "catalizzatore", il gioco ha assunto una portata industriale, arrivando a stravolgere, nel bene e nel male, non solo la propria società ma l'intero pianeta. È quello che è accaduto con la reazione di sintesi dell'ammoniaca: azoto e idrogeno molecolari potevano combinarsi da un punto di vista termodinamico ma difficilmente da un punto di vista cinetico. L'impiego di un catalizzatore, una superficie monocristallina di ferro, ha invece reso possibile la reazione, aprendo la strada alla produzione di fertilizzanti azotati [2].

Oppure è il caso dei catalizzatori organometallici di Ziegler-Natta, grazie ai quali si è potuto produrre in condizioni blande grandi quantità di polietilene e polipropilene di alta qualità [3].

Von Liebig contro Pasteur

Ma facciamo qualche passo indietro e torniamo alle origini delle conoscenze sugli enzimi, a quando ancora non erano stati chiamati così e non era affatto chiaro che fossero veri catalizzatori. Già agli inizi dell'Ottocento, quindi ai tempi di Berzelius, diversi chimici avevano isolato "principi attivi" come la pepsina dallo stomaco (1836), la lipasi (1849) e la tripsina (1877) dal pancreas o l'invertasi dal lievito (1856). Tutte sostanze in grado



VINCENZO GUARNIERI

È chimico e ha un dottorato di ricerca in biochimica e biotecnologia cellulare. È membro dell'Istituto di Ricerche Interdisciplinari sulla Sostenibilità di Torino. "Inventa" progetti di comunicazione scientifica per studenti, insegnanti, animatori e grande pubblico. Ha pubblicato *Maghi e reazioni misteriose* (Lapis edizioni, 2007), una storia della chimica per ragazzi.

di stimolare specifiche reazioni e per le quali, nel 1878, Wilhelm Kühne ha proposto il termine "enzima", dal greco *en* (dentro) e *zýmon* (fermento). All'epoca questi fermenti "non organizzati" che erano stati estratti dalle cellule venivano distinti dai fermenti "organizzati", cioè quelli viventi veri e propri, in grado di compiere i processi di fermentazione. Sull'interpretazione di questo fenomeno si è consumata una delle diatribe scientifiche più interessanti nella storia della scienza, quella tra il tedesco Justus von Liebig e il francese Luis Pasteur. Il primo sosteneva che i fermenti non avessero attività catalitica: stimolavano la fermentazione ma nel frattempo si degradavano in molecole più semplici, anziché rimanere inalterati come accade ai catalizzatori. Inoltre, von Liebig immaginava il fenomeno soltanto da un punto di vista chimico, senza associarlo necessariamente alla vita di particolari cellule.

Pasteur, al contrario, sosteneva che «l'atto chimico della fermentazione è essenzialmente un fenomeno correlato di un atto vitale, e comincia e finisce con quest'ultimo» e che i fermenti non si consumavano durante la reazione.

↓ Louis Pasteur



Enzimologia e biochimica

La diatriba è stata risolta in modo quasi del tutto fortuito nel 1897 dal tedesco Eduard Buchner. Nel tentativo di conservare il succo di lievito necessario per alcuni studi immunologici compiuti dal fratello batteriologo Hans, il chimico vi ha aggiunto del glucosio, osservando con stupore che si formavano bollicine: stava avvenendo una fermentazione alcolica senza cellule viventi di lievito. Questo grazie alla presenza della zimasi, "principio attivo" contenuto nel lievito, che i due fratelli hanno caratterizzato negli anni seguenti. Presto viene chiarito che i fermenti organizzati sono correlati con quelli non organizzati. Si tratta sempre di enzimi, sostanze dotate di attività catalitica. Nasce così l'enzimologia. La prospettiva chimica di Liebig si mescola con quella biologica di Pasteur. Nasce così anche la biochimica.

La natura dell'enzima

Gli enzimi sono sostanze in grado di aumentare la velocità di specifiche reazioni. Sono catalizzatori e come tali, come già sosteneva Berzelius, svolgono la loro funzione rimanendo inalterati al termine del processo catalitico. Su questo punto c'era una certa concordanza tra i chimici di allora. Ma cosa sono gli enzimi da un punto di vista chimico? Ci sono voluti parecchi anni di ricerche e confronti prima di comprendere con certezza che si trattava di proteine (e ce ne sono voluti altri per scoprire che esistono anche enzimi non proteici, l'RNA catalitico). È stato anzitutto necessario chiarire che cosa fosse una proteina. L'identificazione e caratterizzazione di questa classe di molecole è legata all'introduzione del concetto di macromolecola ad opera di Hermann Staudinger nei primi anni trenta del Novecento e a diversi studi specifici, tra i quali alcuni che hanno riguardato proprio gli enzimi. Questi sono stati a lungo un mistero perché in certe condizioni non risultavano positivi ai saggi di riconoscimento delle proteine, pur manifestando la loro attività catalitica.



A TUTTA BIRRA!

L'uomo gioca con la cinetica enzimatica da millenni. E la produzione della birra lo testimonia. Nel processo che parte dai cereali e arriva a un boccale della bevanda alcolica che conosciamo tutti, fondamentale è il ruolo degli enzimi. Il deposito di amido contenuto nel chicco d'orzo deve essere trasformato in una forma chimica tale da essere gradita ai lieviti che possono così compiere la fermentazione alcolica.

Per iniziare questa trasformazione si esegue la maltazione dell'orzo, cioè la germinazione in acqua dei chicchi, seguita da essiccazione e tostatura. In questo modo nei semi sono sintetizzati e attivati numerosi enzimi: dalle proteasi, che degradano le strutture proteiche nelle quali viene protetto il deposito di amido, alle amilasi, la cui attività determina alcune delle caratteristiche principali della birra, come il corpo e il grado alcolico. Esistono due tipi di amilasi, alfa e beta, che rendono cineticamente possibile la reazione di idrolisi delle macromolecole di amido in frammenti più corti. Le alfa-amilasi spezzano i legami 1,4- D -glucosidici in punti casuali della catena producendo molecole di lunghezza medio-bassa, le destrine. Le beta-amilasi, invece, agiscono alle estremità liberando maltosio, costituito da due molecole di glucosio. A 60 °C e pH 5.0 lavora di più la beta-amilasi, mentre a 70 °C e pH 5.6 è più attiva la alfa-amilasi. Nella fase detta di ammostamento, i chicchi di malto macinati vengono immersi in acqua e portati a specifiche condizioni di temperatura e pH per un tempo ben definito in modo da far lavorare i due enzimi per ottenere una desiderata proporzione tra destrine e maltosio. Al termine di questa "digestione" il mosto si filtra, si fa bollire con il luppolo, ingrediente che fornisce l'aroma, e si versa nel fermentatore con i lieviti. Questi sono in grado di metabolizzare solo il maltosio, producendo alcol, e non le destrine, che rimangono integre e conferiscono alla birra il corpo e la dolcezza. A seconda di quale enzima si è deciso di attivare maggiormente si ottiene una birra più alcolica e meno corposa, o viceversa. Ogni ingrediente influisce sulla qualità del prodotto, dall'acqua al lievito. Oggi si usano ceppi selezionati in laboratorio ma fino ai tempi di Pasteur tutte le birre erano di fermentazione spontanea. Avvenivano cioè con lieviti e, in alcuni casi, anche batteri "selvatici". Oggi soltanto le birre belghe Lambic sono prodotte in questo modo. E il loro sapore è molto diverso dalle altre perché diversi sono i "fermenti" coinvolti. Altre reazioni, altri gusti.



PHOTOS.COM

🔗 Nella produzione della birra molteplici sono le reazioni enzimatiche.

Quando si è compreso che gli enzimi sono attivi a concentrazioni così basse da trovarsi al di sotto del limite di rivelabilità delle reazioni di riconoscimento, il mistero è stato svelato.

In quegli anni diversi scienziati avevano iniziato a osservare il fenomeno di denaturazione delle proteine accorgendosi che in alcune condizioni queste molecole potevano "rinaturarsi", tornando ad assumere forme e funzioni originarie. Nel 1934 Alfred Mirsky e Mortimer Anson hanno dimostrato che esiste un vero e proprio equilibrio tra la proteina nativa e quella denaturata utilizzando come oggetto di studio la tripsina, un enzima. Per la prima volta, un fenomeno tipico delle proteine era osservabile anche attraverso gli enzimi. A questo punto non ci sono stati più dubbi: gli enzimi sono proteine.

Come una chiave nella toppa

Ma come funzionano? Uno dei modelli concettuali più efficaci per spiegare il meccanismo di azione enzimatica è il modello "chiave-serratura". Questo viene attribuito a Emil Fischer che, in un suo articolo del 1894, ha sostenuto che l'enzima e il suo substrato «devono adattarsi l'uno l'altro, come la chiave e la toppa, affinché possano esercitare una mutua azione chimica». Ma una volta dentro la toppa, che cosa succede al sistema? Dalla metà del secolo scorso, il sito attivo di un enzima è diventato un oggetto di studio privilegiato perché si presta particolarmente bene all'applicazione di tecniche come la risonanza magnetica nucleare (NMR), la risonanza paramagnetica elettronica (EPR) o quelle che impiegano i raggi X. Si è compreso che la flessibilità della

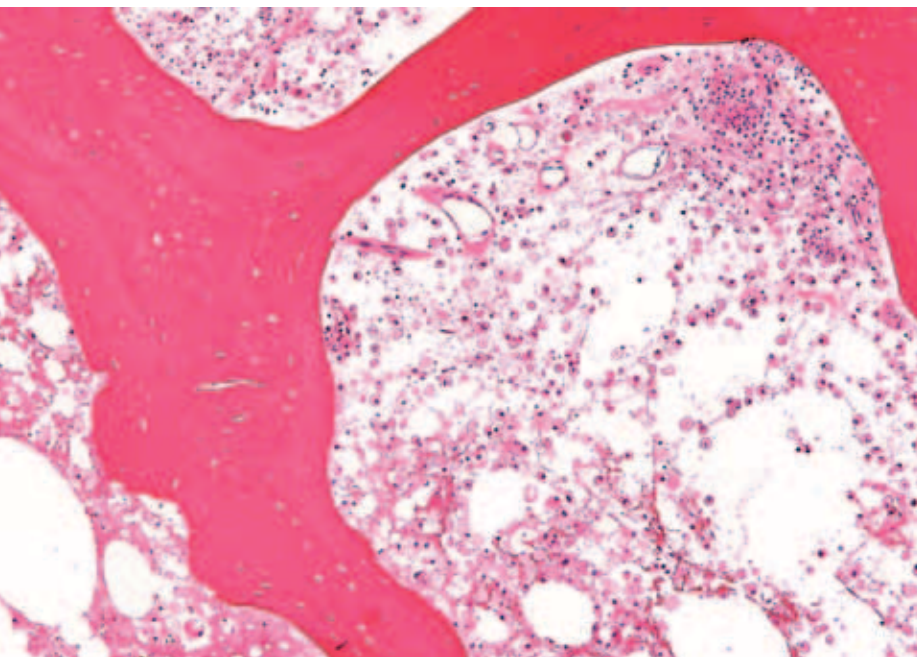
Uno dei modelli concettuali più efficaci per spiegare il meccanismo di azione enzimatica è il modello "chiave-serratura"

PER APPROFONDIRE

— L. Cerruti, *Bella e potente. La chimica del novecento tra scienza e società*, Editori Riuniti, 2003.

— *Kontakt! Breve storia della catalisi*, Minerva. link.pearson.it/986734CD





CATALISI E SALUTE: PERICOLO RALLENTAMENTI

Nel 1929 il premio Nobel Richard Willstätter ha scritto che «la vita non è altro che l'ordinata cooperazione di processi enzimatici». Basta che uno di questi processi non vada alla giusta velocità e possono insorgere patologie. È il caso delle malattie genetiche ereditarie dovute alla mancata codifica di un enzima o all'alterazione della sua attività catalitica. Una piccola modificazione di un gene può rallentare o bloccare del tutto una reazione biochimica, con conseguente accumulo del substrato nell'organismo e mancata formazione di prodotti o energia. Ne sono esempi la malattia di Tay-Sachs, di Niemann-Pick o di Gaucher.

Quest'ultima, per esempio, è dovuta al deficit di

➔ **Micrografia di un osso in malattia di Gaucher dovuta al deficit dell'enzima glucocerebrosidasi. Ne deriva una ridotta capacità di trasformazione di glucocerebrosidi che accumulandosi nei lisosomi dei macrofagi provoca una serie di problemi, dall'erosione delle ossa ai danni cerebrali.**

glucocerebrosidasi, enzima che catalizza la trasformazione di glucocerebroside, molecola derivante dalle cellule degradate, in zuccheri e grassi riutilizzabili. Ne consegue un accumulo di questa sostanza nei lisosomi dei macrofagi: un accumulo che, a sua volta, provoca una serie di problemi, dall'erosione delle ossa ai danni cerebrali. Per cercare di curare tali malattie è necessario intervenire sulla cinetica delle reazioni coinvolte riducendo a monte la formazione del substrato con un'opportuna dieta, quando si può, oppure tentando di somministrare gli enzimi mancanti o di stimolare l'attività enzimatica con vitamine. Queste, infatti, sono quasi sempre precursori dei coenzimi, componenti funzionali degli enzimi. Sono quindi fondamentali per la chimica della vita e i problemi derivanti da un loro deficit sono spesso da interpretare in chiave cinetica. I difetti di coagulazione del sangue da carenza di vitamina K, per esempio, sono dovuti alla mancata sintesi della protrombina, enzima essenziale per la rapida formazione del coagulo.

Il blocco di una via metabolica può essere causato non solo da un difetto genetico o dalla mancanza di cofattori essenziali, ma anche dalla presenza di particolari molecole. È il caso di una classe di insetticidi molto utilizzati in agricoltura e non solo, gli organofosforici, in grado di inibire irreversibilmente l'acetilcolinesterasi, l'enzima che degrada il neurotrasmettitore acetilcolina subito dopo che ha svolto la sua funzione. Inibire tale reazione è dannoso non solo per gli insetti ma anche per l'essere umano. Per evitare pericolosi "rallentamenti", nel caso di questi insetticidi, conviene proprio andarci piano.



IN RETE!

Carnevale cinetico Edizione del Carnevale della chimica (un'iniziativa proposta da un network di blog scientifici) dedicata al tema della catalisi.

link.pearson.it/F67B351A

Chimica in video Animazioni divertenti ed efficaci dal sito TED Education.

link.pearson.it/6F7264A0 e

link.pearson.it/18755436

struttura proteica dell'enzima può facilitare sia l'ingresso del substrato nel sito attivo (la chiave che entra nella serratura) sia la successiva rimozione del prodotto.

In sostanza, la chiave entrando nella serratura ne modifica la struttura rendendola funzionale al processo catalitico, secondo un altro modello concettuale chiamato "accesso-indotto" (*induced-fit*).

Ma come si compie in pratica il processo catalitico? È Linus Pauling nel 1943 a ipotizzare che l'enzima compia la sua azione stabilizzando il complesso attivato. In seguito questa sua intuizione viene confermata: la stabilizzazione avviene grazie a complesse interazioni di natura elettrostatica che hanno l'effetto di abbassare l'energia di attivazione e, conseguentemente, di aumentare la velocità di reazione.

Dall'origine della vita ai fertilizzanti azotati, dalle bevande alcoliche alla plastica, dalla salute alle foglie artificiali, i casi di studio per approfondire la cinetica chimica non mancano

➔ La fotosintesi artificiale rimane uno degli obiettivi della ricerca sui catalizzatori "biomimetici".



Ricerca continua

*La cinetica enzimatica è stata compresa più a fondo quando gli enzimi sono stati considerati nel loro contesto cellulare ed evolutivo.

Queste macromolecole si trovano spesso raggruppate in complessi multienzimatici. La loro vicinanza spaziale e la collocazione in comparti dalle geometrie particolari all'interno della cellula permettono il corretto funzionamento di processi metabolici fondamentali come la respirazione cellulare che avviene nei mitocondri o la fotosintesi nei cloroplasti. Una tale orchestrazione ha richiesto miliardi di anni di evoluzione.

Le maggiori conoscenze sulla cinetica enzimatica hanno permesso di saperne di più sulla cinetica chimica, non solo nel campo del vivente ma anche in quello dei catalizzatori inorganici, sia sciolti in soluzione sia presenti in superfici porose. Le dinamiche complesse che regolano la capacità di un catalizzatore di abbassare l'energia di attivazione di una particolare reazione chimica sono

infatti analoghe. E grazie a questa analogia è stato possibile immaginare e progettare nuovi sistemi catalitici, più efficienti e adatti a sintetizzare i più disparati prodotti da impiegare nelle attività umane.

O adatti a tentare di ridurre gli effetti "collaterali" provocati dalle stesse: dalle marmitte catalitiche per neutralizzare i gas di scarico prodotti dalle auto, agli enzimi in grado di degradare il petrolio che si libera in mare aperto dopo i vari incidenti a petroliere o a piattaforme. Grazie a queste conoscenze è stato anche possibile immaginare nuovi scenari in altri ambiti della ricerca scientifica.

L'origine della vita sulla Terra è uno di questi. L'atmosfera terrestre primordiale conteneva gas, come biossido di carbonio e idrogeno, che non potevano combinarsi tra loro per motivi di tipo cinetico a meno che qualche altra sostanza non avesse avuto proprietà catalitiche.

Quale? Il dibattito è ancora aperto. Dall'origine della vita ai fertilizzanti azotati, dalle bevande alcoliche alla plastica, dalla nostra salute alle foglie artificiali, i casi di studio utili per trattare e approfondire gli aspetti cinetici non mancano. E la storia della scienza è sempre un valido strumento per inquadrarli correttamente prima di proporli in ambito didattico. ➔

RIFERIMENTI

- 1 V. Murelli, *James Barber racconta*, in "Linx Magazine", 2012, vol. 11. link.pearson.it/B427A317
- 2 V. Guarnieri, *La chimica dell'atmosfera, tra attualità e storia*, in "Linx Magazine", 2013, vol. 14. link.pearson.it/C3209381
- 3 V. Guarnieri, *I polimeri tra chimica e storia*, in "Linx Magazine", 2013, vol. 15. link.pearson.it/5A29C23B



Passeggiando TRA I FIORI

Gli orti botanici sono un crocevia di storie, un incontro perfetto di argomenti e discipline, dalla scienza alla medicina alla storia dell'arte, e dunque un'ottima meta per una visita d'istruzione. A partire dal più antico tra gli orti italiani, quello di Padova.



RENATO BRUNI

ce il mio amico Michele abbiamo condiviso diverse esperienze importanti. Anzitutto, siamo nati lo stesso giorno nello stesso ospedale, per cui possiamo dire di conoscerci da sempre. Poi, quando anni dopo ci siamo ritrovati nella stessa aula di liceo, mi sono rifiutato di passargli una versione di latino: lui era uno scansafatiche e io un secchione un po' pedante. Forse questo gli è pure costato una riparazione a settembre. Non abbiamo però smesso di vederci, io ho imparato a frequentare i peggiori bar del circondario e lui, dopo essersi laureato senza bisogno di aiuti esterni (e con lode) in lettere classiche, è passato dall'altra parte della cattedra. Ora insegna con passione e puntiglio non prevedibili nell'epoca in cui, pur di avere una frase di Tacito precotta, mi bucava la schiena

🕒 L'Orto Botanico di Padova fu fondato nel 1545 ed è il più antico orto botanico universitario al mondo.



C-C

con la Bic e ci ritroviamo spesso a giocare su possibili collegamenti tra materie. A volte ci aiuta Marcello, altro ex compagno di classe ora medico, e l'ultima volta il discorso ha preso una piega particolare perché Michele deve organizzare la gita scolastica. «Vado con la prof. di scienze ma l'organizzazione tocca a me. Dove li porto?» ci ha chiesto Michele. «Tenete presente che dobbiamo considerare anche la storia dell'arte.» «Portali a Padova», ho detto «Gita all'Orto Botanico. Gli orti sono un incrocio perfetto di argomenti, un concentrato di storie da sviluppare in mille direzioni. E tutto in una zona circoscritta, tranquilla, gestibile didatticamente e con il vantaggio di stare all'aria aperta».

Di pane, santi e allucinazioni

«Prima però, un salto al Santuario di Sant'Antonio» interrompe Marcello, che inizia a sciorinare le sue competenze storico-mediche suggerendo un riscaldamento in bus, con il racconto della leggenda di *Claviceps purpurea*, della segale e di Sant'Antonio di Padova. L'anno mille è da poco passato e lungo tutto l'arco alpino per campare si raccoglie segale. Il frumento dell'epoca non riusciva a crescere in quota ai climi freddi e quello nero "tedesco" era il pane quotidiano dei montanari. Un pane fatto con una farina che però ha un problema, sconosciuto all'epoca: può essere ottenuta da cariossidi infette da *Claviceps purpurea*, un ascomicete parassita che produce una serie di

👉 Fungo della segale cornuta che cresce su una spiga di segale



ASTRID & HANNS-FRIEDER MICHLER/SCIENCE PHOTO LIBRARY

alcaloidi allucinogeni derivati dall'acido lisergico, strutturalmente omologhi all'LSD. Queste sostanze servono al fungo per evitare che gli animali d'inverno mangino una parte, detta sclerozio, fondamentale per la sua sopravvivenza. Se assunte in dosi acute causano visioni, delirio e violenti fenomeni psichedelici nei mammiferi (nei topolini che perlustrano i campi in cerca di cibo, ma anche nell'essere umano). Buona parte della letteratura storiografica del Medioevo riporta episodi di "follia" collettiva di interi villaggi, specie nel Nord Europa e ha la sua causa scientifica proprio in panificazioni operate con farine fortemente contaminate dagli alcaloidi di *Claviceps*.

Se assunti invece in forma cronica all'interno di farine leggermente inquinate, gli stessi alcaloidi causano un'intossicazione detta ergotismo, caratterizzata da una progressiva degradazione del sistema circolatorio periferico, che si traduce in spasmi dolorosi, crisi convulsive e in alcuni casi in forme di cancrena. Nel contesto culturale del Medioevo, queste manifestazioni erano interpretate con la lente millenaristica della giustizia divina, della giusta punizione per i peccati commessi. Nel dolore fisico e nel terrore derivato da una malattia inspiegabile, la gente delle montagne si aggrappava a chi esortava al pellegrinaggio a Padova, dove gli Antoniani somministravano ai malati uno speciale unguento, che unito alle preghiere garantiva il recesso della malattia. I montanari con le loro gambe in cancrena intraprendevano quindi un viaggio che per i canoni dell'epoca era un'epopea di settimane, certo non una comoda gita di poche ore su un autobus climatizzato. Servivano giorni, durante i quali la dieta del pellegrino cambiava: fuori dall'areale di coltivazione della segale, l'arrivo in pianura offriva pane bianco, privo di tossine in quanto ottenuto da frumento meno sensibile all'aggressione fungina. Il cambio di dieta proseguiva durante la permanenza a Padova e permetteva una graduale detossificazione dell'organismo, così i sintomi recedevano e le cancrene e i dolori se ne andavano. Il Santo aveva fatto il "miracolo". E fu così che un pezzo di storia d'Italia fu determinato da un piccolo fungo allucinogeno.



📍 Antico Istituto di Botanica presso l'Orto Botanico dell'Università di Pisa. Oggi ospita la sezione storica dell'Orto.



UNA STORIA SECOLARE

Per molti probabilmente è solo un parco pubblico meglio curato, nel quale non è possibile giocare a pallone. Un orto botanico invece non è un semplice giardino, né soltanto un museo con collezioni viventi. In molti casi è un luogo attivo nella ricerca scientifica e nella sua divulgazione grazie a una innata propensione alla comunicazione e al coinvolgimento dei visitatori.

I primi orti botanici al mondo sono una creazione rinascimentale italiana, durante la prima metà del 1500: appaiono in seno alle nascenti università a Pisa e Padova. Quest'ultimo è quello che da più tempo insiste nella medesima posizione ed è sorto come orto medicinale, per lo studio e la coltivazione delle specie officinali e per l'acclimatazione di quelle esotiche che giungevano tramite i commerci della Serenissima. Inizialmente, queste strutture fecero propria la tradizione conventuale nell'uso delle piante medicinali, integrandola poi con le nascenti basi scientifiche.

Nei decenni successivi appaiono altri orti importanti a Leida, Heidelberg, Lipsia. Con l'avvento delle grandi esplorazioni gli Orti divengono la porta principale attraverso cui le scoperte naturalistiche in campo vegetale entrano nella società occidentale: piante esotiche, frutti e fiori tropicali, resoconti di avventurosi botanici si diffondono in Inghilterra, Francia, Germania, Olanda grazie alla fervente attività dei loro Orti Botanici, dove nascono e si ottimizzano serre capaci di riprodurre climi artificiali. Nei decenni successivi essi divengono i principali centri di ricerca sistematica e tassonomica, ospitano collezioni tematiche di erbari, formano generazioni di botanici e assumono una vocazione didattico-divulgativa, di cerniera tra il pubblico e l'accademia. In molti casi ospitano le prime banche del germoplasma e oltre ad essere un polmone verde urbano, si occupano di specie autoctone minacciate, aggregano gli appassionati di illustrazioni botaniche, giardinaggio o bonsai e sono di riferimento per la determinazione di specie vegetali a scopi forensi o tossicologici.

Oggi in tutta Europa si contano circa 500 giardini botanici, di cui oltre 100 in Italia. Purtroppo in molti casi la scarsità di fondi dedicati ha costretto diversi orti italiani alla chiusura parziale e ad una limitata gestione del patrimonio di archivi e piante.

Tutti pazzi per i tulipani

«Ottimo inizio! Storia e medicina! Poi però il grosso della giornata lo passate all'Orto Botanico, perché è lì che trovate tutto quel che serve per collegare tra loro le materie», dico io. «Per esempio, puoi suggerire al prof. di scienze un percorso didattico tra economia, arte e biologia già partendo dai tulipani che troverete nelle prime aiuole, perché tra quei fiori e bulbi ha casa il fenomeno che causò la prima bolla speculativa della storia, nell'Olanda del 1500, in contemporanea con la nascita degli orti botanici.»

I primi tulipani li aveva portati ad Amsterdam il botanico Carolus Clusius per fini tassonomico-scientifici, perché già allora i primi orti botanici non erano semplici archivi di piante o posti da passeggiate, ma ambienti in cui si facevano valutazioni strutturate sulla natura e si ponevano le basi di botanica sistematica e tassonomia. Il paese era appena uscito da un'epidemia di peste e la bellezza pura di quei fiori fu tale da causare furti a ripetizione all'Orto Botanico di Leida, con conseguente dispersione dei bulbi in tutto il paese. La bellezza irraggiungibile e rarefatta di un fiore unico ed esotico divenne presto uno status symbol in grado di

monopolizzare mercato ed economia, si direbbe oggi, e la gente pagava cifre folli per averli. Non tutti i fiori di *Tulipa* giunti dall'Anatolia grazie all'avanzata turca nei Balcani erano monocromatici e le forme che fecero impazzire i Paesi Bassi furono quelle variegata, i cui tepali erano solcati da mazzature policrome mai viste, come nel famigerato *Semper Augustus*. * Chi non poteva permettersi il bene effimero della bellezza lo portava in processione in forma permanente (paradossalmente meno pregiata, all'epoca) in quadri e dipinti a cui si dedicarono vari pittori fiamminghi (inclusi Jan e Pieter Brueghel). Nacque così l'espressione *Rembrandt Tulip* per definire questi tulipani a strisce bianche e rosse, sebbene Rembrandt non li abbia praticamente mai inseriti nei suoi quadri. Chi fiutava l'affare scambiava bulbi e *futures* sulle produzioni a venire alla Borsa di Amsterdam e molte persone si indebitarono oltre il possibile per ottenere le varietà più ambite, prima che gli effetti di una speculazione effimera quanto l'antesi stessa del tulipano mandassero tutto a gambe all'aria. Il valore attribuito era infatti enormemente maggiore di quello reale e ad un certo punto la bolla scoppiò, riducendo sul lastrico intere famiglie.

FIORITURE ANTICIPATE

Quasi 60 orti botanici europei sono impegnati nel progetto IPG-International Phenological Gardens (link.pearson.it/12E228C8), il più lungo ed esteso esperimento in corso sugli effetti del cambiamento climatico: dal 1957 raccolgono in maniera coordinata dati fenologici su 23 specie erbacee e arboree e li correlano a dati ambientali dipendenti dal cambiamento climatico. Gli orti botanici su questo tema stanno vivendo una nuova stagione di ricerca applicata, l'ennesima nella loro camaleontica storia. Sono infatti stazioni geograficamente fisse, nelle quali il monitoraggio dei parametri fenologici è semplice e affidabile: si ha la garanzia di controllare sempre gli stessi individui, cresciuti in condizioni controllate, a partire da pool genetici uniformi e per i quali è agevole effettuare correlazioni con ogni variabile ambientale (temperatura, precipitazioni, giornate di sole ecc.). Inoltre, ospitano in uno spazio limitato centinaia di specie provenienti da habitat e latitudini differenti, il cui comportamento può essere facilmente confrontato. In alcuni casi esistono già registri cronologici compilati con continuità sin dalla fine dell'800, riguardanti la data della ripresa primaverile, della fioritura, della fruttificazione e il confronto tra questi registri ha permesso di confermare che per molte piante l'innalzamento delle temperature ha avuto conseguenze evidenti soprattutto per la fioritura e il risveglio dalla dormienza invernale. Nel caso dell'IPG si è visto che dal 1957 a oggi le piante fioriscono mediamente con circa 6 giorni di anticipo e perdono le foglie con quasi 5 giorni di ritardo. Si è anche determinato che a ciascun grado di innalzamento della temperatura media corrispondono 5 giorni di anticipo nella fioritura e che gli ultimi 25 anni hanno offerto precocità più evidenti. In alcuni casi le differenze sono marcate, con possibili conseguenze ambientali non trascurabili (come una perdita di sincronia tra la fioritura e la disponibilità di insetti impollinatori). Grazie al lavoro di questi orti botanici sarà possibile scoprire quali specie sono più sensibili o resistenti agli aumenti di temperatura e alle variazioni delle precipitazioni che caratterizzano i cambiamenti climatici, prevedendo quali potranno trarre vantaggio o detrimento dal *climate change*.



RENATO BRUNI

è ricercatore in biologia farmaceutica presso il dipartimento di scienze degli alimenti dell'Università di Parma. Si occupa di principi attivi di origine vegetale, di piante utili, di relazioni uomo-pianta e di valorizzazione della biodiversità. Cura il blog Erba volant (<http://meristemi.wordpress.com>).



📌 **Illustrazione d'epoca del *Semper Augustus*, il fiore di maggior valore all'epoca della bolla speculativa dei tulipani: al massimo del suo valore un singolo bulbo poteva valere 10.000 fiorini, pari al prezzo di una intera casa nella zona più bella di Amsterdam.**

Una questione virale

Per secoli quella dei tulipani variegati è stata un'arte ai confini della scienza: si sapeva che innesto e replicazione asessuata favorivano la creazione e il mantenimento della preziosa caratteristica, e i giardinieri degli orti botanici olandesi erano divenuti maestri di questa arte. Tuttavia, la causa e l'imprevedibilità del fenomeno erano poco chiare. Solo dopo il 1930 si è individuato il "colpevole": una malattia virale causata da *potyvirus* descritti da acronimi come TBV (Tulip Breaking Virus) o ReTBV (Rembrandt Tulip-Breaking Virus), che inducono una diversa sintesi e distribuzione dei pigmenti. I virus delle piante si trasmettono per contagio tramite insetti oppure per contatto con utensili "infetti" (come quelli usati negli orti botanici!) e permangono solo in caso di propagazione vegetativa. Questo fattore rende conto dell'imprevedibilità associata al *tulip breaking* all'epoca della tulipomania: si investivano capitali di rischio in partite di tulipani senza la certezza che questi avrebbero avuto a priori le caratteristiche estetiche gradite al mercato, in quanto la limitata conoscenza del meccanismo alla base della variegatura rendeva aleatorio l'esito (e umanamente stuzzicante la scommessa).



PAROLE CHIAVE

Botanica sistematica Disciplina botanica dedicata alla descrizione, al riconoscimento e all'identificazione delle specie vegetali. Si definisce invece tassonomia il sistema ordinato con il quale le specie vengono classificate in base alle loro caratteristiche fenologiche, genetiche ed evolutive.

Epifita Pianta che vive sopra altre piante, senza alcun contatto con il terreno. In alcuni casi sono parassite, con radici infisse nei rami della pianta ospite da cui prendono nutrimento: è il caso del vischio. Altre, come le Tillandsie, non sono parassite ma usano la pianta come base d'appoggio.

Fenologia Branchia dell'ecologia che misura e studia le relazioni tra il clima e i fenomeni visibili della vita stagionale delle piante, legate alle loro fasi di sviluppo: comparsa di gemme e germogli, fioritura, fruttificazione, caduta delle foglie.

Germoplasma Corredo genetico di una specie, dato dall'insieme delle sue diverse varietà, di cui rappresenta quindi la variabilità genetica. Le banche del germoplasma sono strutture nelle quali vengono conservati, vivi o in condizioni di quiescenza, i corredi genetici delle piante.

Micropropagazione Tecnica di propagazione vegetativa che permette di ottenere in breve tempo e in grande quantità cloni di piante da usare in agricoltura o nel ripopolamento di specie a rischio.

Propagazione vegetativa Sistema asessuato di replicazione basato sulla moltiplicazione a partire da materiale vegetale (rami, germogli, stoloni, bulbilli, tuberi). Non prevede ricombinazione genica e non è quindi una vera e propria riproduzione, dato che gli individui prodotti sono identici tra loro.

Sensori per l'ambiente

«E con queste due piante abbiamo sistemato la storia, la biologia e la storia dell'arte. E se volessi qualcosa di legato al quotidiano?» chiede Michele. Gli rispondo che non si deve preoccupare: in un Orto Botanico si trovano agganci a tutto, come in una sintesi delle esperienze umane. «Nelle serre di Padova ci sono numerose Tillandsie e nell'aiuola delle piante medicinali c'è sicuramente una pianta di *Vinca*. Ma partiamo dalle piante che vivono d'aria.» Le Tillandsie sono piante epifite, capaci di vivere senza crescere radici in un terreno; hanno ridottissime esigenze idriche, non devono essere né mantenute né irrigate e possono quindi crescere sospese nell'aria, addirittura sui fili della luce o del telefono. Oltre a essere vendute come bizzarria botanica, possono essere esposte in permanenza a potenziali agenti inquinanti. Sono perfette per controllare a lungo termine



l'inquinamento atmosferico a base di agenti mutageni come particolati, metalli pesanti e idrocarburi nei pressi di grossi insediamenti industriali, inceneritori e reti viarie. In alcune città, per esempio in Brasile e in Messico, sono nati sistemi di monitoraggio a basso costo del potenziale tossico dello smog e dell'inquinamento in generale proprio usando queste piante, che sembrano insignificanti ma possono rivelarsi molto utili all'*Homo technologicus*.

«Il quale usa le piante per anche produrre farmaci» mi interrompe Marcello. «La *Vinca* che hai citato prima è usata per ricavare farmaci ospedalieri per il trattamento delle leucemie. Ho visto delle flebo in corsia. E l'orto di Padova del resto era nato proprio come orto medicinale» prosegue l'amico medico. «Uno dei principali problemi dell'epoca era la poca sicurezza nel riconoscimento delle piante usate dai miei colleghi, per il quale era necessaria grande esperienza pratica: confondere una pianta con un'altra poteva avere effetti letali. Così a Padova si decise di raccogliere le piante medicinali in un unico punto, per coltivarle e facilitarne riconoscimento e studio.»



PHOTOS.COM

🔍 Macro di un fiore di Vinca.

Come una spazzola per vestiti

«Non fu il solo merito», aggiungo. «Grazie a quest'orto piante esotiche come agave, girasole, cedro e patata furono introdotte per la prima volta in Italia. E tornando alla Vinca, per fortuna ha a che fare non solo con un oggetto drammatico come una flebo per la chemioterapia, ma anche con qualcosa di ancora più vicino alla quotidianità di molte case: la spazzola in velluto a senso unico.» Come funziona la spazzola è noto: toglie pelurie e polvere dai tessuti se passata da destra a sinistra, mentre cede quanto raccolto e non trattiene nulla se passata da sinistra a destra. Il funzionamento del fiore del genere *Vinca*, in particolare il meccanismo con cui vengono spazzolati dal polline gli insetti che entrano nella corolla per raccogliere il nettare, è del tutto simile e fu descritto in dettaglio da un osservatore speciale. Charles Darwin, che gli orti botanici li frequentava assiduamente per studiare la teoria dell'evoluzione nelle piante, non si spiegava come mai *Vinca major*, che pur ben vegetava negli orti botanici inglesi e tedeschi in cui era stata portata, non fruttificasse alle latitudini centroeuropee.

Si prese il tempo di sezionare un tubo corollino della pianta e di osservare la disposizione dei filamenti che compongono la peluria posta nella parte centrale della corolla, all'altezza dello stigma appiccicoso. Vide che i peli sono disposti a pettine con un preciso orientamento, dall'esterno verso l'interno. Così facendo, dedusse Darwin, permettono all'insetto di scendere all'altezza dello stigma, ma lo "spazzolano" con cura al momento dell'uscita. In altre parole, lisciano il pelo sull'esoscheletro all'ingresso e fanno un bel contropelo durante la ritirata. In tal modo, se sull'esoscheletro dell'animale sono presenti granuli di polline provenienti dalla visita di un fiore precedente, questi riescono a giungere nella zona dello stigma solo dopo la spazzolata. Al tempo stesso l'insetto ripulito si "sporcherà" prima di partire verso un nuovo fiore solo con i granuli di polline provenienti dalle antere del fiore da cui decolla, in quanto queste si trovano al di fuori della zona ricca di peli. Grazie a questa spazzola a senso unico *ante litteram*, la pianta massimizza la probabilità di un'impollinazione incrociata, evolutivamente più vantaggiosa dell'autoimpollinazione, e al tempo stesso toglie dalla circolazione il polline di possibili concorrenti, trattenendolo all'interno del proprio fiore ed aumentando la probabilità di predominio nell'areale di crescita. Se però in zona non

vi sono insetti interessati al nettare della Vinca e delle dimensioni giuste per infilarsi nel tubo corollino, la fecondazione non avviene e la pianta non fruttifica. «Brillante!» esclama Michele brandendo una penna Bic virtuale «Adesso però su questi bei racconti tu mi devi passare del materiale per studiare meglio e per mettere al lavoro i miei studenti prima della gita: ricordati che sei in debito da quella volta della versione di latino!» 🗑️

PER APPROFONDIRE



- C. Bortolotto, *L'orto botanico di Padova*, Ist. Poligrafico dello Stato - Collana: Il Bel paese. Itinerari, Nr. 22 (2006).
- M. Gribbin, J. Gribbin, *Cacciatori di piante*, Raffaello Cortina ed., Milano 2009.
- R.B. Primack, & A.J. Miller-Rushing, *The role of botanical gardens in climate change research*, in "New Phytologist", 2009, vol. 182, pp. 303-313.
- link.pearson.it/52291BB
- O. Sachs, *I fiori di Darwin*, in "La rivista dei libri". link.pearson.it/8BEB7972

IN RETE!

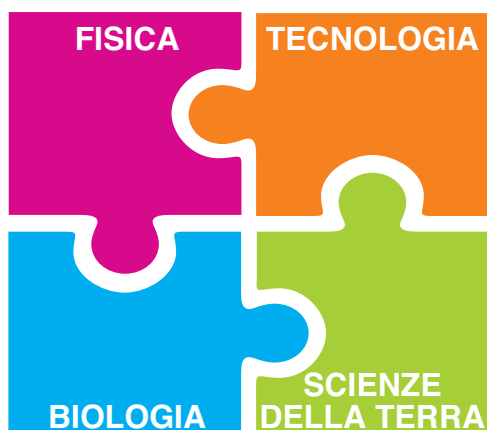


- Piante per il pianeta** Portale che coordina e promuove le attività dei principali Orti Botanici del mondo. Una parte è espressamente dedicata alla questione del climate change. www.bgci.org
- L'orto di Padova** Sito dell'istituzione, con storia, attività, iniziative. www.ortobotanico.unipd.it
- Orti italiani** Portale degli orti botanici italiani, a cura della Società botanica italiana. Dettagli, contatti, orari di apertura e tutto quel che serve per organizzare una visita. www.ortobotanicoitalia.it
- Giardini reali** Sito dei più famosi, visitati e attivi tra gli orti botanici: i Kew Royal Botanical Gardens di Londra. Un'eccellente idea per una gita all'estero. www.kew.org
- Didattica verde** Completo e aggiornatissimo archivio di materiale didattico per l'insegnamento della biologia vegetale e delle altre materie legate alle piante. link.pearson.it/65E5185E

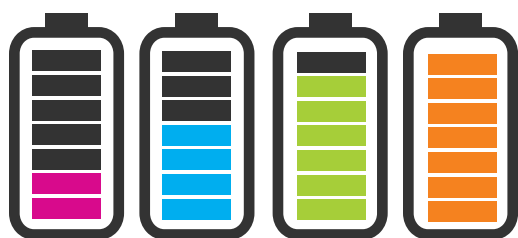
L'ENERGIA CHE FA GIRARE IL MONDO

LAURA PULICI

È necessaria per tenere insieme le particelle subatomiche, per alimentare le cellule del nostro corpo ed è grazie all'energia della radiazione solare che sulla Terra è possibile la vita.



Per dare un'idea delle scale di energia che governano l'Universo abbiamo messo a confronto le energie coinvolte in alcuni processi fisici e biologici, nelle forze della natura e nella vita di tutti i giorni.



LA SCALA DELLE ENERGIE

Ecco a che punto della scala si collocano le energie descritte sopra.



<p>1,6 eV $2,6 \times 10^{-19}$ J</p> <p>È l'energia emessa da un fotone di luce rossa. Una quantità infinitesimale di energia; sufficiente a innescare le reazioni di fotosintesi clorofilliana nelle piante.</p>	<p>200 MeV $3,2 \times 10^{-11}$ J</p> <p>È l'energia liberata dalla fissione nucleare di un atomo di uranio 235. È 50 000 volte più grande dell'energia liberata in una normale reazione di combustione libera.</p>	<p>14 TeV $2,2 \times 10^{-6}$ J</p> <p>È l'energia di collisione protone-protone nell'acceleratore LHC del CERN di Ginevra, pari all'energia cinetica di un moscerino in volo a 3 km/h.</p>
---	--	---

<p>0,6 eV $9,6 \times 10^{-20}$ J</p> <p>È l'energia rilasciata da una molecola di ATP per alimentare il lavoro cellulare. Una cellula muscolare al lavoro può consumare fino a 10 000 000 molecole di ATP al secondo.</p> <p>1 000 000x</p>	<p>0,5 J</p> <p>È l'energia richiesta per un battito del cuore. In un minuto il nostro cuore consuma come una lampadina a risparmio energetico lasciata accesa per un'ora.</p>	<p>$6,3 \times 10^4$ J</p> <p>È l'energia consumata dal nostro cervello in un'ora. In media, pur rappresentando solo il 2% del peso corporeo, il cervello consuma il 20% dell'energia prodotta dal nostro corpo.</p>	<p>2 700 cal $1,2 \times 10^7$ J</p> <p>È l'energia che ogni persona assume in media al giorno con il cibo. Nei paesi in via di sviluppo, però, le calorie a disposizione sono solo 1 800, contro le 3 500 dei paesi industrializzati.</p> <p>1 800</p> <p>Paesi in via di sviluppo</p> <p>2 700</p> <p>Media mondiale</p> <p>3 500</p> <p>Paesi industrializzati</p>
--	--	---	--



3,5 Kw/h
1,3x10⁸ J

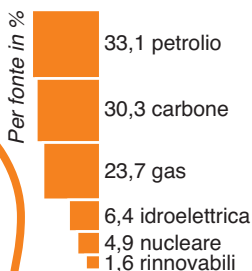
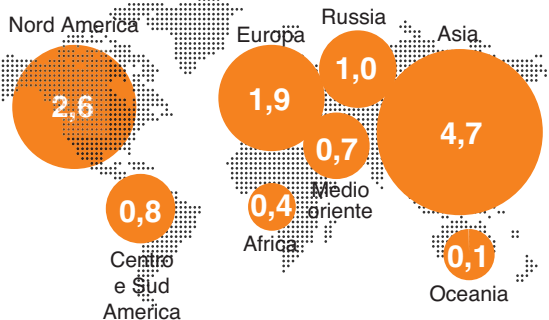
È l'energia consumata in un anno per caricare quotidianamente uno smartphone. Per alimentare i **27 000 000** di cellulari utilizzati in Italia è necessaria la stessa quantità di energia richiesta in un anno da **20 000** abitazioni.



12 000 000 000 Tep
5,1x10²³ J

È l'energia consumata nel mondo nel 2012

Per area geografica in mld di Tep



IL JOULE (J)

È l'unità di misura dell'energia nel **Sistema Internazionale**. Un joule è il lavoro svolto esercitando la forza di un newton per una distanza di un metro.

1 N forza
1 m spostamento

Per esprimere valori di energia molto piccoli si può usare l'elettronvolt, o al contrario per valori molto alti, per esempio la produzione energetica di un paese, si usa il Tep, tonnellata equivalente di petrolio.

LE ALTRE UNITÀ DI MISURA

1 elettronvolt (eV)
1,6x10⁻¹⁹ J

1 British Thermal Unit (Btu)
1 055 J

1 kilocaloria (Kcal)
4 184 J

1 kilowattora (kWh)
3,6 x10⁶ J

1 tonnellata equivalente di petrolio (Tep)
4,2 x 10¹⁰ J

6x10⁹ J

È l'energia termica emessa dall'eruzione del vulcano Eyjafjallajökull nel marzo 2010. Equivale alla capacità produttiva di **6** grandi centrali elettriche in un anno.



10¹⁰ J

È l'energia liberata da un fulmine, equivalente all'energia contenuta in **30** litri di benzina, in grado cioè di alimentare un'auto media per un tragitto di 500 km.



500 km

1,9x10¹⁸ J

È l'energia sprigionata dal sisma che colpì il Giappone l'11 marzo 2011. Equivale al consumo mondiale di petrolio in meno di 4 giorni, pari a **326 000 000** di barili.



10 000 000x

1 kcal

1 kWh

1 Tep

10⁵

10¹⁰

10¹⁵

10²³

Ciò significa che l'energia consumata in un anno nel mondo è diecimila miliardi di miliardi di miliardi di volte l'energia rilasciata da una molecola di ATP.

Fonti per questo articolo
link.pearson.it/7225A12D



INVESTIGARE GLI OCEANI

Dopo i percorsi *inquiry based* sul ciclo idrologico e i fiumi, è il momento di “seguire la corrente”, con un’attività IBSE sugli oceani: l’ultima di una trilogia dedicata ai sistemi acquatici terrestri.

■ ■ ■ ■ ■
BARBARA SCAPELLATO

Una delle caratteristiche peculiari del nostro pianeta è la presenza di un grande oceano, suddiviso in cinque bacini principali – Atlantico, Pacifico, Indiano, Artico e Antartico – che contengono il 97% dell’acqua presente sulla Terra. L’acqua degli oceani evapora nell’atmosfera e ritorna in forma di pioggia, grandine e neve, continuando così a rifornire il pianeta di acqua dolce [1]. Tutte le forme di vita, compresa la nostra, dipendono dall’oceano, che è a sua volta influenzato dalla nostra presenza e interferenza. Comprendere il *sistema oceano* è quindi importante per capire meglio il nostro pianeta. Viene qui proposto un percorso di *inquiry* strutturato [2], sviluppato con il modello delle 5E [3], sulle correnti oceaniche superficiali. Attraverso questo percorso, adatto a classi di prima superiore, gli studenti avranno modo di cominciare a capire come e perché gli oceani fanno parte dei sistemi della Terra e di comprendere che le scienze della Terra consentono anche di interpretare la realtà in cui viviamo. Le schede di lavoro dettagliate sono disponibili online.

Engage: che cosa ne pensi?

Il percorso comincia mostrando una foto del Great Pacific Garbage Patch, la grande isola di rifiuti del Pacifico, e chiedendo agli studenti: secondo voi di che si tratta? Vi è mai capitato di vedere della spazzatura galleggiare in mare aperto? Da dove pensate che provenga? Dopo aver lasciato il tempo ai ragazzi di esprimere le proprie idee, si legge un breve articolo che parla di questo tema (disponibile nelle schede di lavoro), si guarda un video sull’argomento (se ne



ATTIVITÀ DIDATTICA

Online le schede per lavorare in classe con questo articolo



link.pearson.it/19FDCDFE

trovano diversi su Youtube) e infine si invitano gli studenti, ora divisi in piccoli gruppi, a rispondere alle seguenti domande: che cos'è il Pacific Trash Vortex? Come ha fatto ad accumularsi lì tutta quella spazzatura? Che effetti ha questo accumulo di plastica sugli animali marini?

Anche se lavorano in gruppo, ognuno annoterà sul proprio quaderno le risposte alle domande. Il quaderno è uno strumento di lavoro importantissimo che

tiene traccia di tutto il percorso, sia per lo studente che potrà rivedere quanto fatto e controllare i propri progressi nel tempo, sia per l'insegnante per la valutazione formativa.

Le domande continuano

Dopo una breve discussione di quanto emerso nei lavori di gruppo, il docente fa una breve sintesi e avvia la fase successiva, con nuove domande introdotte in questo modo: «Abbiamo visto che la grande massa di rifiuti del Pacifico, scoperta da Charles Moore nel 1997, si è formata per via dell'esistenza della North Pacific Subtropical Gyre, una corrente oceanica del Pacifico a schema circolare che si muove in senso orario. Che cosa sono le correnti? Cos'è che fa muovere l'acqua degli oceani?». Si lasciano due minuti perché ogni studente possa scrivere la propria risposta sul quaderno e di nuovo si formeranno piccoli gruppi al cui interno verranno discusse le risposte individuali per formularne una condivisa. Mentre i ragazzi lavorano, si gira tra i banchi per fornire supporto. Le risposte dei vari gruppi saranno ritirate al termine del tempo stabilito e riconsegnate la lezione successiva per raccogliere elementi utili per la discussione ma anche per analizzare le eventuali misconcezioni emerse. È importante che le attività di gruppo siano svolte e terminate sempre in classe: se le domande venissero assegnate per casa i ragazzi non si sforzerebbero di riflettere ma cercherebbero una risposta preconfezionata sul Web togliendo significato all'attività. La lezione successiva comincia con la discussione sulle riflessioni dei vari gruppi, al termine della quale il docente farà una sintesi, senza dare giudizi sulla correttezza o meno delle risposte.



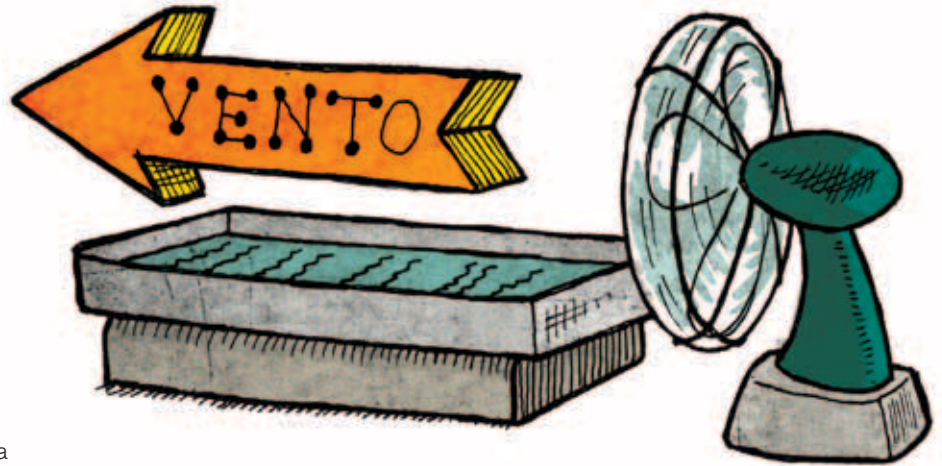


Un fenomeno complesso

È possibile che gli studenti non abbiano mai pensato davvero alle cause della circolazione oceanica: è bene, quindi, incoraggiarli a riflettere sulle proprie esperienze. Probabilmente arriveranno a collegare il movimento dell'acqua dell'oceano e le onde alla presenza del vento. In realtà, il movimento dell'acqua negli oceani è un fenomeno abbastanza complesso. Ci sono due sistemi di circolazione indipendenti l'uno dall'altro: la circolazione superficiale e quella profonda. La circolazione superficiale, che in genere si sviluppa ad una profondità massima di 200 m, è guidata principalmente dallo stress (ossia dall'attrito) del vento sulla superficie dell'oceano. Come dice il nome, invece, la circolazione profonda si riferisce a profondità superiori ed è guidata dalle differenze di densità nelle masse d'acqua. Questa circolazione è anche chiamata termalina poiché i due fattori importanti che la controllano sono la temperatura e la salinità.

Explore: investighiamo!

A questo punto si propongono due attività per permettere agli studenti di investigare l'effetto del vento e della forza di Coriolis sulla circolazione oceanica superficiale. Nella prima attività (*L'effetto del vento sulla superficie oceanica*) si allestisce un modello costituito da una scatola di plastica piena d'acqua posta davanti ad un ventilatore a tre velocità in modo che il bordo della scatola sia al livello della parte inferiore del ventilatore. Se si dispone di una sola vaschetta e/o di un solo ventilatore questa attività può essere svolta come una dimostrazione, ma gli studenti dovranno fare i calcoli e rispondere alle domande lavorando in gruppo. Per prima cosa si chiede ai ragazzi di fare una previsione individuale su quale sarà l'effetto che la velocità del vento avrà sulla circolazione dell'acqua e di annotarla sul proprio quaderno. Poi, si fa partire il ventilatore alla velocità minore e lo si lascia agire almeno un paio di minuti perché il movimento risultante dell'acqua si ponga in uno stato stazionario (si creano correnti superficiali). Quindi, si mette una goccia di colorante alimentare sulla superficie dell'acqua nell'estremità



➔ **Explore! L'effetto delle forze di Coriolis sulla circolazione oceanica superficiale.**

della vaschetta vicina al ventilatore. Con un cronometro si misura quanto tempo occorre perché la massa di acqua colorata si muova da una estremità al centro della vaschetta, ignorando le piccole onde generate dal vento sulla superficie dell'acqua, mentre con un righello si misura la distanza percorsa, annotando tutto sul quaderno.

Osservare e riflettere

Ogni gruppo deve calcolare la velocità dell'acqua, ottenuta dividendo la distanza percorsa dal colorante per il tempo trascorso. Per registrare sul quaderno i dati raccolti nelle varie prove, gli studenti progetteranno e realizzeranno una tabella, e annoteranno, anche con disegni, lo schema del movimento dell'acqua colorata nella vaschetta. Ciò che dovrebbero osservare è che il colorante percorre la lunghezza della vaschetta restando vicino alla superficie. Ripetendo i passaggi alla velocità media e poi alla velocità massima del ventilatore, dovrebbero inoltre osservare che la velocità del colorante è minore quando il ventilatore ha velocità minore e maggiore quando ha velocità maggiore. Si chiede quindi: che cos'è successo? Qual è stato l'effetto del vento sulla circolazione dell'acqua? Che cosa emerge dal confronto tra i risultati ottenuti e la previsione fatta all'inizio dell'investigazione? Gli studenti risponderanno in gruppo a tali domande segnando le risposte sul quaderno.

Rette e cerchi

Nella lezione successiva si affronterà la seconda attività (*L'effetto della forza di Coriolis*), invitando gli studenti a tracciare delle linee rette su un cerchio di cartoncino posto su un vassoio girevole in movimento prima in senso orario e poi in senso antiorario. Prima di cominciare, spiegare la procedura agli studenti e chiedere di disegnare sul quaderno due cerchi, indicandone la direzione di rotazione con una freccia. I ragazzi dovranno disegnare in ciascun cerchio quale pensano sarà la direzione delle linee che tratteranno, spiegando anche perché ritengono che il pennarello farà proprio quel percorso.

A questo punto gli studenti possono mettersi al lavoro, facendo ruotare lentamente il vassoio in senso orario (un giro completo in 5 secondi) e cercando di tracciare contemporaneamente con un pennarello una linea dritta dal centro del cartoncino alla sua estremità. Muovere la penna in linea retta e a velocità costante non è facile, ma la riuscita dell'attività dipende proprio da questo, quindi sarebbe bene fare prima un po' di pratica. Una volta effettuata la prova, gli studenti disegnano la linea ottenuta sul quaderno, nel cerchio corrispondente alla direzione di rotazione del vassoio, e ripetono tutto facendo ruotare il vassoio nella direzione opposta.



BARBARA SCAPELLATO

è docente di scienze nella scuola superiore. Laureata in scienze biologiche, svolge attualmente un dottorato di ricerca sulla didattica delle scienze della Terra presso l'Università di Camerino. Nel 2011 è stata nel comitato scientifico delle Olimpiadi internazionali delle scienze della Terra di Modena.

Domande e risposte

Si chiede agli studenti di rispondere, sempre in gruppo, alle seguenti domande. Confrontate le previsioni fatte con i risultati ottenuti: c'è differenza? Perché secondo voi? In che modo la forma della linea varierebbe se si modificasse la velocità del vassoio girevole? E se, invece, variasse la velocità con cui avete disegnato la linea? (Più velocemente gira il vassoio, più la linea sarà curva. Più lentamente ruoterà il vassoio, più la linea sarà dritta. Più velocemente si muove la penna, meno curva sarà la linea. Più la penna si muoverà lentamente, più curva sarà la linea). Dopo aver spiegato che il modello realizzato rappresenta la Terra osservata da lontano, con il centro del cerchio che rappresenta un Polo, chiedere: qual è il senso di rotazione del vassoio girevole che corrisponde a quello della Terra nell'emisfero settentrionale? Qual è quello nell'emisfero meridionale? Come si modifica la forma della linea quando la rotazione del vassoio ha lo stesso senso di rotazione della Terra nell'emisfero settentrionale? E in relazione all'emisfero meridionale? (La forza di Coriolis fa deviare gli oggetti verso destra, cioè in senso orario, nell'emisfero nord e verso sinistra, cioè in senso antiorario, nell'emisfero sud). Se il tempo a disposizione lo permette, si possono testare anche queste ultime previsioni fatte.

Explain: si comincia a capire

Una volta che i gruppi avranno presentato le evidenze raccolte e le risposte alle domande, l'insegnante farà una breve sintesi di quanto emerso, facendo notare che quanto osservato nella prima attività è che il "vento" che soffiava sulla superficie dell'acqua ha generato una corrente superficiale che si muove nella stessa direzione e che a sua volta questa corrente aveva effetto solo sullo strato superficiale dell'acqua. Nella seconda attività, invece, si è scoperto che è difficile disegnare una linea retta su una superficie in rotazione. A questo punto si può cominciare a spiegare la forza di Coriolis, soffermandosi sul fatto che questa forza fittizia genera particolari fenomeni sulla Terra, tra i quali le correnti oceaniche. Si passa quindi alla descrizione degli oceani nel mondo e alla spiegazione dei fattori dai quali dipendono le correnti oceaniche.

Explore: di nuovo al lavoro!

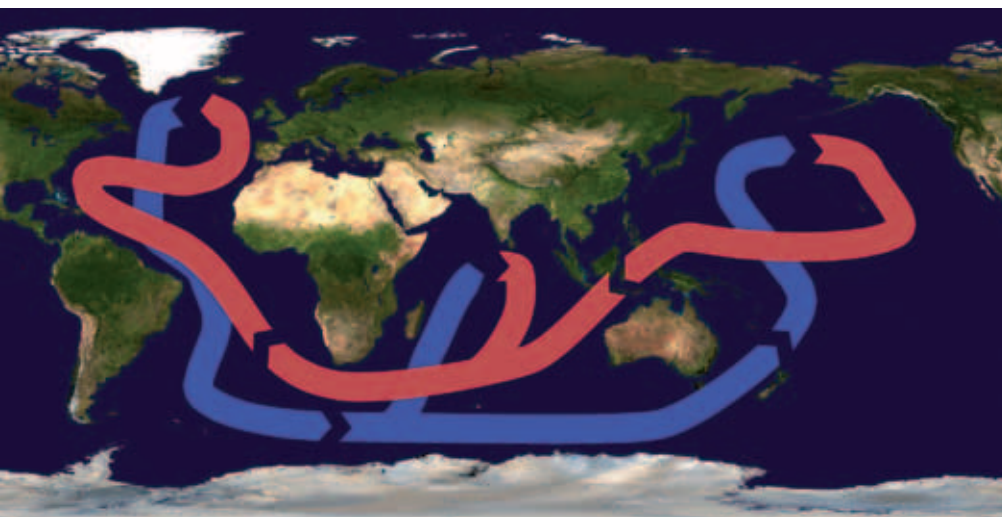
Per continuare l'esplorazione delle correnti superficiali si introducono altre due attività, a partire da un nuovo scenario. Il 10 gennaio 1992 un cargo in navigazione dalla Cina a Seattle venne

travolto da una tempesta mentre si trovava in mezzo al Pacifico: alcuni dei container trasportati caddero in mare, liberando un carico di 28800 pupazzetti di gomma da vasca da bagno: paperelle gialle, tartarughe blu, castori rossi e rane verdi. Nei mesi seguenti iniziarono i ritrovamenti dei giocattoli, che continuano ancora oggi.

Nella terza attività (*Mappare le correnti superficiali*), gli studenti leggeranno in gruppo un articolo (disponibile nelle schede di lavoro online) in cui vengono descritte le rotte della "flotta" di animaletti di gomma, individueranno i luoghi di ritrovamento in un planisfero e, disegnando delle frecce che uniscano i punti individuati sulla carta, tracceranno le possibili direzioni delle correnti del Pacifico che li hanno trasportati.

Carte a confronto

Nella quarta attività (*La relazione tra vento e correnti oceaniche superficiali*) gli studenti, sempre suddivisi in gruppi, osserveranno una carta della circolazione oceanica superficiale e cercheranno di riconoscere le correnti già individuate grazie al percorso dei giocattoli di gomma dell'attività precedente. Nel passaggio successivo, metteranno a confronto una carta della circolazione dei venti con la carta della circolazione oceanica superficiale e risponderanno alle seguenti domande: quali sono le somiglianze tra queste due carte? Quali, invece, le differenze? (È importante incoraggiare gli studenti a osservare il percorso delle frecce sulla carta, scoraggiando risposte vaghe come "le carte sono simili perché



G La correnti oceaniche profonde, dette termoaline, sono causate da variazioni di salinità e temperatura.



sono entrambe dei planisferi e diverse perché i colori e le frecce sono diverse". Gli studenti dovrebbero notare che i venti e la circolazione superficiale seguono percorsi molto simili. Tuttavia, le correnti oceaniche sono deviate dalle masse continentali, mentre i venti le attraversano). E ancora: secondo voi, come sarebbe la carta della circolazione oceanica se non ci fossero i continenti? (Senza i continenti, la carta delle correnti superficiali dovrebbero assomigliare molto alla carta dei venti).

Explain, seconda parte

Durante la lezione seguente i gruppi condivideranno e discuteranno quanto emerso con l'intera classe. Con queste attività, gli studenti hanno imparato che quando un oggetto cade nell'oceano, le correnti possono spostarlo per molte centinaia o persino migliaia di chilometri. Hanno, infatti, visto che i giocattoli di gomma caduti in mare durante una tempesta sono stati trasportati in luoghi molto distanti, arrivando in un primo tempo sulle coste dell'Alaska, della Kamchatka, del Giappone e poi sulle spiagge di Indonesia, Australia, Sud America e sulle coste del Maine e della Gran Bretagna. Gli studenti hanno anche compreso come il vento determini il percorso delle correnti superficiali oceaniche. È arrivato, quindi, il momento di analizzare in profondità come si formano le correnti oceaniche superficiali, la circolazione oceanica globale, la

relazione tra le correnti superficiali e il clima. Per casa, si assegnano lo studio degli argomenti affrontati sul libro di testo e alcune domande che aiuteranno gli studenti a verificare ciò che hanno compreso. Inoltre, si chiede loro di ripercorrere le tappe del percorso fin qui fatto alla luce di quanto ora sanno, evidenziando sul quaderno eventuali concezioni errate possedute nella fase iniziale e/o integrando le risposte date precedentemente.

Elaborate: mettere in pratica quanto imparato

La lezione successiva inizia con la discussione delle risposte alle domande assegnate per compito, per poi passare alla fase in cui gli studenti approfondiscono e rinforzano la comprensione di ciò che hanno appreso, applicandolo in contesti nuovi. Si tratta di un'ulteriore riflessione di gruppo guidata da domande, la cui risposta necessita l'applicazione delle conoscenze acquisite e l'uso rigoroso del lessico scientifico:

1) Osservando la carta della circolazione oceanica superficiale, puoi spiegare

perché le regioni meridionali della costa occidentale del Sud America sono più fredde delle regioni settentrionali della costa orientale del Nord America che si trovano alla stessa latitudine? 2) Alla luce di quanto sai ora, spiega come può essersi formato il Pacific Trash Vortex. Ancora una volta, la riflessione sulle risposte dei vari gruppi contribuirà a consolidare la comprensione degli argomenti trattati.

Evaluate

Nella verifica finale lo studente, munito di una carta delle correnti oceaniche e di una scheda con le caratteristiche principali di tali correnti, dovrà descrivere il percorso che un messaggio in bottiglia lanciato nell'Oceano Atlantico al largo delle coste della Florida potrebbe compiere per raggiungere uno di questi due luoghi: le coste del Madagascar o le coste del Perù. Dovrà elencare i nomi delle correnti superficiali che l'hanno trasportata, specificandone velocità, temperatura e direzione, e fare una stima approssimativa della durata di questo viaggio.

Gli studenti, inoltre, saranno incoraggiati ad autovalutare la propria comprensione e le abilità acquisite attraverso la compilazione di una scheda per l'autovalutazione personale e del lavoro di gruppo. L'utilizzo del quaderno durante tutte le fasi di lavoro ha consentito ai ragazzi di riflettere costantemente su tutte le attività svolte e sulle loro idee pregresse. Questa continua alternanza tra "fare" e "riflettere" fornisce agli studenti l'opportunità di sviluppare le competenze dell'inquiry e la comprensione vera di ciò che fanno. ●



RIFERIMENTI

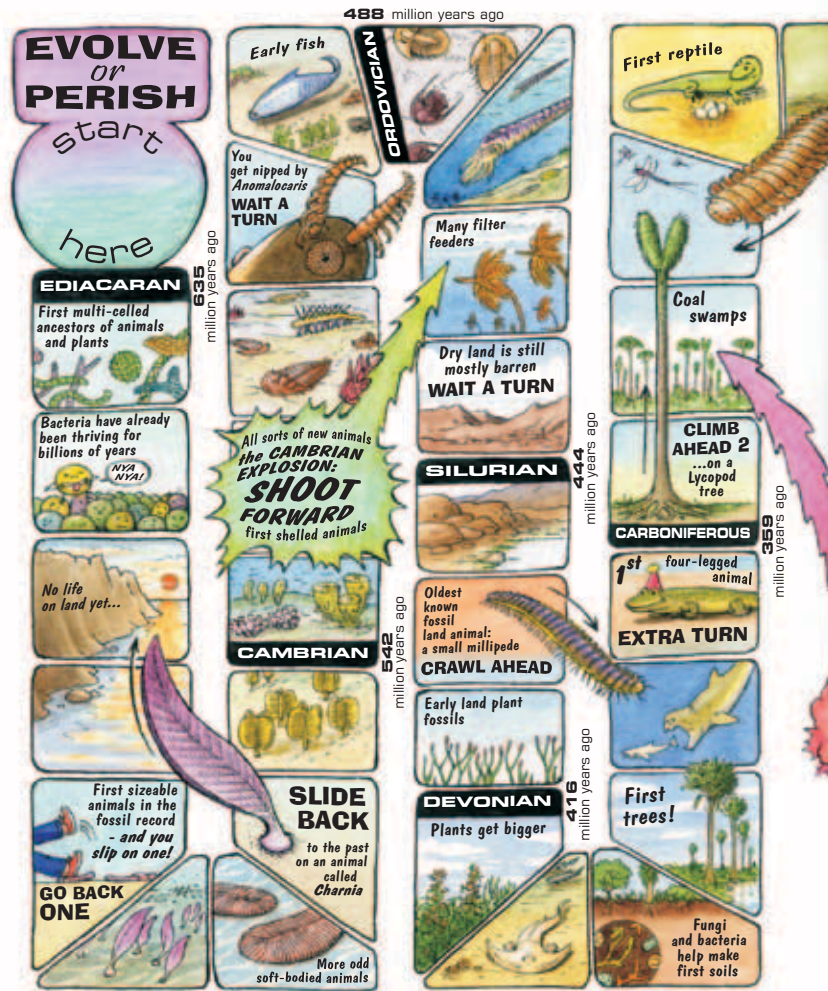
- 1 B. Scapellato, *Investigare il ciclo dell'acqua*, in "Linx Magazine", 2012, vol. 12, pp. 46-50.
- 2 B. Scapellato, *I livelli di inquiry*, in "L'ingrediente segreto", link.pearson.it/8799585D
- 3 *The 5 E Learning Cycle Model*, link.pearson.it/965AFA4F

LE MANI sull'evoluzione

La teoria dell'evoluzione a scuola? Spesso troppo astratta e lontana dall'esperienza dei ragazzi. Ecco allora un percorso originale e divertente per coinvolgerli e contrastare gli errori più comuni diffusi nell'immaginario collettivo.

■■■■
GIULIA REALDON

🕒 Evolve or perish, il gioco che sostiene e rende avvincente l'apprendimento della teoria dell'evoluzione.



GIULIA REALDON
è stata insegnante di scienze naturali al liceo scientifico ed è dottoranda in *Teaching Earth Sciences* all'Università di Camerino. Collabora con la rivista europea *Science in School*. Ringrazia Livia Antonini (I.C. Giacich di Monfalcone) e Immacolata Ercolino (Liceo Calamandrei di Napoli) per il contributo al percorso didattico descritto

Gli uomini discendono dalle scimmie. Di nuovo. Anche il passato anno scolastico un paio dei miei studenti della seconda liceo scientifico aveva scelto questa infame risposta nel questionario di verifica sull'evoluzione. Quella che segue era la domanda con i relativi distrattori, e a me sembrava fin troppo ovvia la risposta.

Secondo l'attuale teoria dell'evoluzione:

- gli uomini discendono dalle scimmie;
- le scimmie discendono dagli uomini;
- le scimmie e gli uomini non hanno antenati comuni;
- le scimmie e gli uomini hanno antenati comuni.

Invece no, non era così ovvia per tutti e puntualmente qualcuno degli alunni era caduto nella trappola di uno stereotipo tanto assurdo quanto ben radicato nell'immaginario collettivo. Eppure mi ero onestamente impegnata a presentare l'argomento al (mio) meglio, curando la contestualizzazione storica della teoria dell'evoluzione di Darwin e illustrando con

entusiasmo i suoi sviluppi nei 150 anni successivi alla pubblicazione de *L'origine delle specie*. Ero delusa e frustrata: dove avevo sbagliato? Che cosa avrei dovuto fare per correggere una misconcezione così resistente all'azione didattica?

Basta così: avrei dovuto documentarmi e trovare una soluzione a ciò che per me rappresentava un vero e proprio smacco professionale.

Non posso crederci

In realtà il problema non era solo mio: esiste infatti un'interessante produzione di saggi sui "falsi miti dell'evoluzione" e sugli ostacoli di natura cognitiva che si frappongono alla comprensione della teoria dell'evoluzione [1-4]. Fino a quel momento avevo pensato che solo i creazionisti, dai teorici della "Terra giovane" a quelli dell'Intelligent Design, avessero buone ragioni (dal loro punto di vista, s'intende) per opporsi alla teoria dell'evoluzione. Invece non era così. Nonostante il fatto che Ernest Mayr, dall'alto della sua lunghissima e profonda conoscenza sul campo, affermasse con semplicità che



«l'evoluzione è un *fatto*», il filosofo della scienza David Hull poteva ugualmente ribadire con una certa ironia che «l'evoluzione è così semplice che quasi tutti possono fraintenderla». I miei alunni si trovavano dunque in buona compagnia.

Un piano d'azione

Presa coscienza che i problemi cognitivi e le misconcezioni sull'evoluzione sono pressoché inevitabili, dovevo trovare una via d'uscita dall'impasse didattica in cui mi ero cacciata. Per mia fortuna (e con l'aiuto del Web) ho l'abitudine di scambiare idee con molti colleghi insegnanti di scienze in Italia e all'estero: con loro ho condiviso le mie difficoltà, traendone spunti e suggerimenti che in seguito mi sarebbero tornati utili. Bisognava partire dall'analisi dell'esistente per impostare un efficace piano d'azione didattica. Ecco quanto: avevamo un buon libro di testo, aggiornato ed esauriente, ma – nonostante la ricchezza di informazioni e l'ottima iconografia – l'argomento risultava troppo astratto e troppo lontano, nel tempo e nello spazio, dalle esperienze degli studenti.

Ci voleva qualcosa di più concreto, magari interattivo e, perché no, divertente per catturare la loro attenzione e per coinvolgerli anche emotivamente. Qualcosa che fosse abbastanza coinvolgente da competere con gli stereotipi dei media e dell'immaginario collettivo. Avrei sperimentato questa via prima di approfondire con i ragazzi quegli aspetti teorici che normalmente costituiscono l'incipit del modulo sull'evoluzione.

Giochiamo all'evoluzione

Un giorno, dunque, mi sono presentata in classe con il tabellone di un gioco da tavolo sul genere del gioco dell'oca: *Evolve or Perish*, proposto dal National Museum of Natural History della Smithsonian Institution di Washington [5]. Avremmo ripercorso la storia della vita sulla Terra attraverso i lanci di un dado, saltando tra trilobiti e dinosauri fino al traguardo del tempo presente. Dopo il prevedibile successo del gioco abbiamo esplorato il tempo profondo stendendo per i corridoi della scuola una *timeline* geologica degli ultimi 600 milioni di anni (praticamente tutta la storia della vita pluricellulare) con l'aiuto di un... maxi rotolo di carta igienica: le date degli eventi rievocati acquistavano così una visibilità inimmaginabile rispetto alle nude cifre. Camminando lungo l'insolito "papiro" si poteva notare quanto fossero distanti la fauna di Burgess e le due estinzioni di massa alla fine del Paleozoico e del Mesozoico rispetto

all'evoluzione umana, tutta compresa negli ultimi segmenti di carta.

Dopo questo approccio informale alla storia dell'evoluzione, i miei studenti non hanno battuto ciglio alla proposta di una sfida a coppie nel gioco online *Darwin's Evolution Game* [6], sul sito di Science Channel. Si tratta di scegliere creature immaginarie da far "sopravvivere" per 1 milione di anni nonostante il verificarsi di cambiamenti ambientali non controllabili dai giocatori. All'inizio i ragazzi sceglievano a caso la popolazione di partenza, poi si sono accorti del valore adattativo dei caratteri prescelti per le loro creature (alto, basso, magro, paffuto, con gambe lunghe, con pelliccia ecc.), scoprendo infine che non c'era un adattamento "buono" per ogni circostanza.

A questo punto avevamo acquisito una serie di conoscenze condivise sulle quali avremmo potuto innestare una discussione teorica con un forte richiamo a esperienze vissute in prima persona: non erano solo giochi, ma anche immagini e ricordi con un significato personale e concreto.

Risalire sugli alberi

Dopo aver familiarizzato con gli aspetti teorici dell'evoluzione (e dopo parecchie discussioni su adattamento, contingenza, non direzionalità, concetti oggettivamente ostici non solo per gli adolescenti) eravamo pronti ad applicare le "regole del gioco" alla costruzione di alberi filogenetici.

Per queste attività ho potuto approfittare di esperienze e materiali raccolti in occasione di corsi organizzati da istituzioni e società scientifiche europee, come i *DNA to Darwin Courses* dell'Università di Reading [7] e il workshop *Evolution and Biodiversity*

🕒 La time-line geologica viene srotolata nei corridoi del Liceo Buonarroti di Monfalcone.



IN RETE!

L'albero della vita Sito del *Tree of Life Web Project*, ricco di informazioni su biodiversità ed evoluzione. www.tolweb.org

Variabilità, selezione e tempo Sezione del sito *Learn Genetics at Utah University* dedicata all'evoluzione. link.pearson.it/8CCC4E94

Sistematica e filogenesi Pagina del National Center for Biotechnology Information americano dedicata a un'introduzione su sistematica e filogenesi molecolare. link.pearson.it/15C51F2E

Un mare di risorse Sito della National Academy of Sciences americana tutto dedicato all'evoluzione: aspetti scientifici e relazioni con società e religione. link.pearson.it/62C22FB8

Vita interattiva Albero filogenetico interattivo dal sito *Discover Life*. link.pearson.it/F27D3229



RIFERIMENTI

- 1 M.S. Cameron e C. Sullivan, *I falsi miti dell'evoluzione*, ed. Dedalo, Bari 2008.
- 2 V. Giroto, T. Pievani, G. Vallortigara, *Nati per credere*, Codice edizioni, Torino 2008.
- 3 B.M. Hood, *Supersenso. Perché crediamo nell'incredibile*, Il Saggiatore, Milano 2010.
- 4 *Misconceptions about evolution*, Understanding Evolution, Berkeley University. link.pearson.it/CDE2E6F
- 5 *Evolve or Perish*. link.pearson.it/7BD91EF9
- 6 *Darwin's Evolution Game*. link.pearson.it/2D2EF2AD
- 7 *DNA to Darwin*, NCBE – University of Reading 2011. link.pearson.it/9C6133FE
- 8 *Evolution and Biodiversity*, EGU-GIFT, Vienna 2011. link.pearson.it/EB660368
- 9 *Dna to Darwin*, Introductory activities. link.pearson.it/B34A670E
- 10 J. Barker, *Simulating evolution*. link.pearson.it/FCA6BA1B
- 11 W. Grajkowski, *Building a phylogenetic tree*. link.pearson.it/8BA18A8D
- 12 *Bioinformatics with pen and paper: building a phylogenetic tree*, in "Science in School", 2012, vol. 17. link.pearson.it/12A8DB37



PER APPROFONDIRE

- S. Carroll, *Infinite forme bellissime*, Codice edizioni, Torino 2008.
- S. Carroll, *Al di là di ogni ragionevole dubbio*, Codice edizioni, Torino 2008.
- R. Dawkins, *Il racconto dell'antenato*, Mondadori, Milano 2006.
- S.J. Gould, *Il pollice del panda*, Il Saggiatore, Milano 2001.
- T. Pievani, *La vita inaspettata*, Raffaello Cortina, Milano 2011.

dell'European Geosciences Union [8].

Gli alberi filogenetici sono utili – nella realtà come nella didattica – perché ricostruiscono non solo la storia della vita, ma anche le relazioni tra le specie viventi (*extant*) e quelle ormai scomparse (*extinct*). L'aspetto interessante è che si possono simulare alberi filogenetici in diversi modi: partendo da tutti i loro membri (viventi e fossili) o solo con le specie viventi, imitando così i metodi realmente impiegati nella ricerca per fare ipotesi e trarre inferenze.

Abbiamo dunque costruito alberi filogenetici iniziando in maniera giocosa con biscotti da tè (a simmetria centrale o bilaterale, con o senza cioccolato) [9] e minuterie metalliche (chiodi, viti, graffette...) [10]. Questi alberi simulano con oggetti concreti e quotidiani raccolte di fossili dalla cui morfologia bisogna ricostruire possibili parentele e discendenze: attraverso la manipolazione di questi oggetti gli studenti non hanno avuto difficoltà a capire i problemi affrontati e i metodi usati dai paleontologi. Una volta che i ragazzi hanno fatto pratica con le procedure, ho proposto loro elaborazioni matematiche e bioinformatiche... *senza computer* (!), usando figure di animali/piante oppure finte sequenze omologhe di DNA di primati [11-12]. Dietro ai computer e ai data base biologici, infatti, vi sono modalità di calcolo che si possono modellizzare in versione semplificata: riprodurli con carta, penna e calcolatrice è servito a dare senso ai dati numerici. Alla fine i miei studenti potevano capire che cosa significa, in termini filogenetici, il fatto che la differenza tra il DNA umano e quello di scimpanzé è dell'1,2 %.

Comunicare la scienza

Guardando indietro alle esperienze maturate lungo questo percorso didattico – che mi ha impegnato, ma anche molto divertito – ho sentito

l'esigenza di dividerlo e metterlo a disposizione di altri insegnanti e studenti. L'opportunità si è presentata in due occasioni: il festival europeo per insegnanti di scienze *Science on Stage*, tenutosi lo scorso aprile a Slubice, in Polonia (www.science-on-stage.eu) e il festival locale della rete *Scienza under 18* a Isontina, Monfalcone (www.su18isontina.it). A *Scienza under 18* i protagonisti della comunicazione scientifica sono gli studenti, nel mio caso la classe 2B del Liceo Scientifico Buonarroti di Monfalcone. I ragazzi si sono divisi in gruppi, ognuno dei quali ha presentato una delle diverse attività sull'evoluzione a un pubblico assolutamente eterogeneo: adolescenti come loro, bambini della scuola primaria, genitori, nonni, passanti curiosi. Io mi sono limitata alla logistica e al supporto tecnico, lasciando agli studenti la responsabilità di gestire i gruppi in modo autonomo e con loro evidente soddisfazione. Dopo il festival ho chiesto ai ragazzi qualche commento sull'esperienza come espositori. Ecco qualche risposta: «Un modo piacevole, nuovo e creativo per studiare le scienze e insegnarle»; «una possibilità di interagire con persone di diverse età»; «un'occasione per staccare dal solito tipo di studio e metterci alla prova». Il feedback degli studenti è stato dunque molto positivo, così come quello dei colleghi, italiani e stranieri, con i quali ho condiviso i materiali del progetto. E la lotta alle misconcezioni? *Suspense*, almeno fino alla prossima prova di verifica. ➔

📍 **Festival Scienza under 18 isontina 2013 (Monfalcone): gli alunni di una scuola primaria alle prese con il gioco dell'oca dell'evoluzione.**





Un incanto inesprimibile, una pena soave



FRANCESCA E. MAGNI

Seconda puntata del nostro percorso alla scoperta dei punti di contatto tra matematica e poesia: dai poeti neoclassici a quelli contemporanei.

poeti italiani degli ultimi due secoli si sono ispirati alla matematica solo in poche occasioni, ma lo hanno fatto sempre con toni e modalità originali. Come era successo per i loro predecessori [1], il rapporto tra poesia e matematica nasce spesso da un'analogia di forma nella quale la matematica propone modelli che la poesia fa diventare propri. Il passo in più compiuto dalla letteratura moderna è quello di aver approfondito il rapporto fino ad arrivare alla fusione contemporanea che alimenta la poesia anche nei contenuti: un dialogo nel quale i temi matematici figurano a pieno titolo nel componimento poetico e lo caratterizzano a fondo.

Come una musica

La nostra seconda "passeggiata letteraria" riparte dall'epoca di Leopardi e in particolare, per quanto riguarda il Neoclassicismo e il Romanticismo, dalle osservazioni sull'argomento contenute in due articoli di Fabrizio Lorusso e Valerio Magrelli.

Per il poeta neoclassico, la poesia ha una «intrinseca natura musicale» [1] che segue regole metriche precise che la avvicinano ai «principi matematici che regolano anche la disposizione delle sette note nel pentagramma». Un celebre esempio di come le astrazioni matematiche necessarie alla musica diano ritmo e

melodia anche in ambito poetico, è il poemetto incompiuto *Le Grazie* di Ugo Foscolo, nel quale compare in maniera esplicita il tema neoclassico della "armoniosa melodia pittrice":

*Cantando, o Grazie, degli eterei pregi
di che il cielo v'adorna, e della gioia
che vereconde voi date alla terra,
belle vergini! a voi chieggo l'arcana
armoniosa melodia pittrice
della vostra beltà;
[...]*

ATTIVITÀ DIDATTICA

Online le schede per lavorare in classe con questo articolo



link.pearson.it/A021929C



MARIO VAREINA

**G Particolare della Sala Consiliare di
Giussano, opera del Maestro Aligi Sassu.**

dell'incommensurabile: dalla serie infinita dei numeri all'illimitatezza dello spazio e del tempo. È il "sublime matematico" ad attrarre i romantici, quel sublime che per Kant «non deriva, come il bello, dal libero gioco tra sensibilità e intelletto, ma dal conflitto tra sensibilità e ragione» [4]. Ed è Leopardi che meglio rappresenta in Italia questo rapporto conflittuale e allo stesso tempo contemplativo [5], come egli stesso scrive nello *Zibaldone*, a proposito del numero infinito dei mondi possibili:

[l'uomo] considerando la pluralità de' mondi, si sente essere infinitesima parte di un globo ch'è minima parte d'uno degl'infiniti sistemi che compongono il mondo, e in questa considerazione stupisce della sua piccolezza, e profondamente sentendola e intentamente riguardandola, si confonde quasi col nulla, e perde quasi se stesso nel pensiero della immensità delle cose, e si trova come smarrito nella vastità incomprendibile dell'esistenza.
(Zibaldone, 3171, 12 Agosto 1823)

Numeri magici e versi in libertà

Bisogna aggiungere inoltre che spesso il numero romantico perde le sue connotazioni scientifiche per assumere quelle «di tipo magico, esoterico e filosofico» [4]. Si pensi, a questo proposito, all'attrazione di William Blake per il "numero della bestia", il 666, nominato nella Bibbia nell'*Apocalisse di Giovanni Apostolo* e illustrato dal poeta/pittore nell'omonima tavola (*Il numero della Bestia* è 666) nel 1805-1810. Il confronto romantico con il numero è importante anche per un secondo aspetto: la cifra viene assimilata «all'interno del dettato poetico» [3] ed estetizza il linguaggio matematico, ma al contempo viene abbandonata per abbracciare le idee di libertà nate in campo geometrico. Non dimentichiamoci che l'Ottocento è il secolo che vede la nascita delle geometrie non euclidee (di rottura con la "tradizione" euclidea) e non è un azzardo ritrovare nello stesso periodo nel movimento poetico romantico una analoga rottura con il verso classico e la nascita del verso libero, «un verso che rinuncia appunto al rispetto del numero per affidarsi ai capricci di una geometria variabile» [3].

Il senso dei romantici per l'infinito

I romantici inoltre, insieme all'armonia della matematica, fecero proprio il suo potere unificante: «Tipico di questo movimento fu infatti l'anelito all'unità, affinché, dietro le apparenze di un mondo governato dall'incalcolabile, potesse essere ritrovata la chiave armonica dell'universo e il suo originario ordine matematico» [3]. La sensibilità dei poeti romantici fu dunque vicina alla matematica, nei termini appena citati, anche se ne preferirono gli aspetti più inquietanti, come la contemplazione dell'infinitamente grande e



FRANCESCA E. MAGNI

laureata in fisica, insegnante e pubblicitista. Ha collaborato e collabora con riviste di comunicazione della scienza sia cartacee sia online.

Le avanguardie storiche

Il primo vero passo che introduce il numero nel discorso poetico con un approccio sperimentale e nuovo anche a livello dei contenuti, è compiuto – secondo Valerio Magrelli – dalle avanguardie storiche, dal futurismo fino al surrealismo. Il futurista Aldo Palazzeschi (1885 – 1974) ne *La passeggiata* «gioca con i numeri in modo totalmente mercificato e profano» [3]:

*Fallimento!
Grande liquidazione!
Ribassi del 90%*

Il legame "futurista" tra numeri e versi è inconsueto perché utilizza la cifra come oggetto verbale di sperimentazione/provocazione, come la seguente poesia di Palazzeschi pubblicata dalla rivista *Lacerba* nel 1915:

*Uno due tre
caffè caffè caffè.
Quattro cinque sei
lei lei lei.
Sette otto nove
piove piove piove.
Zero.
Nero.*

Collocato a pieno titolo nella tradizione della scapigliatura italiana è Ernesto Ragazzoni (1870 - 1920), che precede di alcuni anni Palazzeschi. Di lui si ricorda la poesia "matematica" *Il teorema di Pitagora* della quale riportiamo le strofe finali:

*Ma il quadrato costruito sovra l'ipotenusa
è la somma di quelli fatti sui due cateti.
La vita è una prigione in che l'anima hai chiusa,
uomo, ed invano brancoli cercando alle pareti.
Sono di là da quelle i bei fonti segreti
ove tu aneli, e dove la pura gioia è fusa.
Qui, solo hai qualche gocciola di ver per le tue seti.
Il quadrato costruito sovra l'ipotenusa
è la somma di quelli fatti sui due cateti.*



➔ **Leonardo Sinisgalli e Giuseppe Ungaretti al Cairo, 1959.**



Matematica da denuncia

Un anno dopo Ragazzoni, nasce Carlo Alberto Salustri, noto come Trilussa (1871 – 1950), il quale oltre che con gli anagrammi (Trilussa lo è del suo cognome e si ottiene ordinando dall'ultima alla prima le sue tre sillabe "Tri – lus – sa *versus* Sa – lus – tri" in maniera molto simmetrica!) amava deliziarsi e deliziare i lettori con accenni alla matematica utilizzata come potente metafora per poter perseguire i suoi scopi di poeta satirico sociale. Scritte in romanesco, le sue poesie infatti prendono di mira per esempio la statistica, che con le sue stime e medie non serve poi a molto se non aiuta il povero a cambiare il proprio stato:

La statistica

Sai ched'è la statistica? È na' cosa che serve pe' fà un conto in generale de la gente che nasce, che sta male, che more, che va in carcere e che spòsa.

Ma pè me la statistica curiosa è dove c'entra la percentuale, pè via che, lì, la media è sempre eguale puro co' la persona bisognosa.

Me spiego: da lì conti che se fanno seconno le statistiche d'adesso risurta che te tocca un pollo all'anno:

e, se nun entra nelle spese tue, t'entra ne la statistica lo stesso perch'è c'è un antro che ne magna due.

E *La matematica degli zeri* (Numeri, 1944) spiega in maniera magistrale come funzionano le dittature:

*- Conterò poco, è vero:
- diceva l'Uno ar Zero -
ma tu che vali? Gnente: proprio gnente.
Sia ne l'azione come ner pensiero rimani un coso voto e inconcludente.
Io, invece, se me metto a capofila de cinque zeri tale e quale a te,
lo sai quanto divento? Centomila.
È questione de numeri. A un dipresso è quello che succede ar dittatore che cresce de potenza e de valore più so' li zeri che je vanno appresso.*

L'ombra di una retta

Successivo a Trilussa è Leonardo Sinisgalli (1908 – 1981), poeta/ingegnere che fu scoperto da Ungaretti e che fondò e diresse la rivista *Civiltà delle macchine*. La sua professione si intreccia in maniera inestricabile con la sua attività poetica e la matematica non influenza solo lo stile «rigoroso e geometrico» ma soprattutto compare in temi specifici della sua poetica [6]. Molti passi richiamano la geometria in maniera esplicita, come i seguenti:

dalla raccolta **"Infinitesimi"** (pubblicata postuma nel 2001)

*Come il ragno
costruisco con niente
lo sputo la polvere
un po' di geometria.*

da **Archimede, i tuoi lumi, i tuoi lemmi!** (1968)

*Archimede i tuoi lumi, i tuoi lemmi
separarono una goccia dall'altra
colsero il sentimento di una curva
cercarono i centri irremovibili dell'essere.*

L'ombra (1978)

*L'ombra di una retta
è sempre una retta;
non è quasi mai un cerchio
l'ombra di un cerchio.*

Per Sinisgalli la matematica è un mondo nel quale rifugiarsi, che con la sua «musica accorata» [...] «quieta tutte le voglie». L'esperienza diretta dello studio della materia fra i 15 e i 20 anni si trasfigura per il poeta come composta da «giorni di estasi» che formano un «incanto inesprimibile, una pena soave»: gli oggetti matematici sono «modelli impenetrabili alla malinconia, alle lacrime». Gli anni giovanili sono ricordati da Sinisgalli in un'opera pubblicata nel 1944 intitolata *Furor mathematicus*.

Giù dalla cattedra nel Novecento

Il rapporto fra poesia e matematica nei poeti del Novecento viene analizzato in un saggio di Paolo Maroscia [7] nel quale si sottolinea come «nel XX secolo sia il poeta che il matematico sono scesi, per così dire, dal piedistallo, ossia dalla

cattedra» scoprendosi entrambi non più depositari di certezze assolute. L'ultima strofa di *Non chiederci la parola* di Eugenio Montale inizia proprio con un esempio «matematico»:

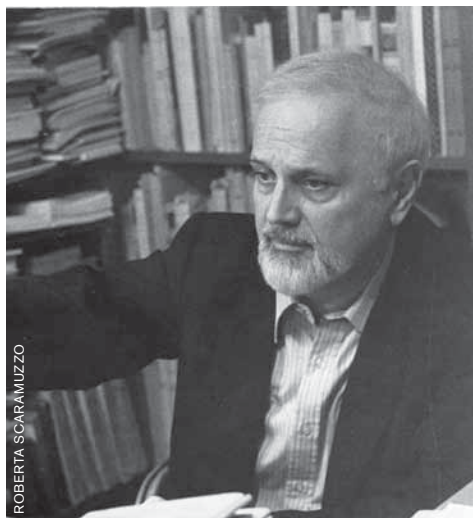
Non domandarci la formula che mondi possa aprirti.

Altri due poeti novecenteschi citati da Maroscia sono Vincenzo Cardarelli (1887 - 1959) e Giorgio Caproni (1912 - 1990) dei quali riportiamo rispettivamente *Parabola* e *Geometria*

Parabola

*Anni di giovinezza grandi e pieni!
Mattini lenti, faticoso ascendere
di gioventù che avanza
come il carro del sole
sulla via del meriggio.
A colpi di frusta,
con grida eccitanti,
noi la sproniamo a passare.
Ed illusioni, errori,
non sono allora che stimoli al tempo
e una maniera d'ingannar l'attesa.
Giunti che siamo al sommo, vòlti all'ombra,
gli anni van giù rovinosi in pendio.
Né il numerarli ha ormai nessun valore
in sì veloce moto.*

Commenta Maroscia: «Grazie a questi versi, la parabola con concavità rivolta verso il basso [...] appare molto espressiva e ricca di risonanze, a differenza di quella, sia pure più familiare, con la concavità verso l'alto».



ROBERTA SCARAMUZZO

Roberto Roversi, 1996.

Geometria

*L'importante è colpire alle spalle.
Così si forma un cerchio
dove l'inseguito insegue
il suo inseguitore.
Dove non si può più dire
(figure concomitanti
fra loro, equidistanti)
chi sia il perseguitato
e chi il persecutore.*

«Si ritrova qui» scrive Maroscia «uno dei temi centrali della poetica di Caproni, quello del cacciatore che è anche un fuggiasco, come se ci fosse una specie di sdoppiamento dell'io, in due persone che cercano di eliminarsi a vicenda. [...] è proprio il contesto geometrico, chiaro e ambiguo nello stesso tempo, che consente al Poeta di esprimere con grande efficacia il proprio dissidio interiore, profondo e insanabile». In Caproni la fusione novecentesca fra matematica e poesia è compiuta: la prima aiuta l'altra sia nell'ispirazione sia nell'esprimere i profondi echi dell'autore. E viceversa la seconda sublima i contenuti e le forme astratte e razionali della prima, fino a farle vivere a pieno titolo nel mondo dell'arte letteraria.

Verso i contemporanei *

E per finire questa carrellata, citiamo tra i contemporanei due poeti scomparsi nel 2012, Mario Socrate e Roberto Roversi. Socrate (1920 - 2012), tra i fondatori della rivista *Città aperta*, è un poeta che ha tratto ispirazione dalla scienza in

alcune sue opere e in particolare nel libro *Favole paraboliche* [7]. Nella poesia *Intervista all'osservatorio* immagina di mandare un messaggio universale agli alieni, che non può che essere di natura matematica e cioè il teorema di Pitagora, un teorema molto noto e quindi citato spesso dai poeti, come abbiamo visto con Ragazzoni.

*Già altre volte immaginarono
di proiettare fra le stelle
come una costellazione
un segno di comunicazione
intelligente:
il teorema di Pitagora si scelse.*

Un discorso diverso merita Roberto Roversi (1923 - 2012), tra i fondatori insieme a Pier Paolo Pasolini della rivista *Officina*, perché si colloca nel contesto del Marxismo e della poesia civile e politica. In contrapposizione con le letture mistico-irrazionali del Romanticismo, il Marxismo assegna alla poesia «una dimensione rigorosamente razionale» [8] in un rapporto di «ideale complementarietà» con la scienza. Se si osserva per esempio – distaccandoci dalla produzione poetica – la critica letteraria di impostazione marxista, facente capo a Galvano Della Volpe (1895 - 1968), essa ha un metodo opposto a quella di stampo crociano e idealistico; alla critica marxista interessa analizzare il testo poetico in quanto ancorato alla realtà e il poeta diventa un

poeta-artigiano che lavora «non già con magiche e ineffabili operazioni alchimistiche, ma con gli esperimenti tentati [...] in una oscura e prosaica officina» [8]. Esperimenti che, nel caso di Roversi, possono appoggiarsi anche alla matematica per esplicitare il proprio impegno civile e politico, come nella lunga poesia intitolata *Trenta miserie d'Italia* [9] nella quale i numeri scorrono dall'uno fino al trenta in un sofferto elenco:

*Italia numero trenta o Italia numero uno
dalle onde del tempo in brividi di primavera
vulcani che rombano
assisi su isole con lunghi capelli d'oro.
[...]
Italia numero uno Italia numero trenta io
c'ero.
Su montagne ferite dalla violenza del mondo
su piazze inzeppate di pietre
urlanti vendetta e canzoni
io c'ero. Su strade spaccate da un vento feroce
come un foglio bianco appeso a un tronco
l'amico ha lasciato la vita.
[...]
Italia numero tredici tre volte
Italia adorabile donzella
piffero risuonante
chi ti ascolta è perduto.
Il mare ti mangia adagio
il tuo riso è infernale
ingiusto e sprovveduto
smarrita dentro balli e suoni
neanche più chiedi o urla aiuto*

RIFERIMENTI

- 1 F.E. Magni, *Da Dante a Leopardi, i numeri che non ti aspetti*, in "Linx Magazine" vol. 15, 2013. link.pearson.it/E6D64870
- 2 F. Lorusso, *Matematica e poesia in Carmilla on line*. link.pearson.it/D04B6613
- 3 V. Magrelli *Le equazioni della poesia*, Repubblica, 26 gennaio 2010. link.pearson.it/3E45073F
- 4 F. Morante, *Romanticismo*. link.pearson.it/494237A9
- 5 M.T. Borgato, L. Pepe, *Leopardi e le scienze matematiche*. link.pearson.it/D726A20A
- 6 S. Beccastrini e M. P. Nannicini, *Matematica e letteratura*, Edizioni Erickson, Trento 2012, pag. 277 - 278.
- 7 P. Maroscia, *Matematica e poesia in Matematica e cultura* a cura di M. Emmer, Springer 2008
- 8 *Letteratura e scienza* a cura di Andrea Battistini, Zanichelli ed., Bologna 1977, pag. 59-60.



Il fascino indiscreto delle PSEUDOSCIENZE

Lo scorso 16 febbraio si è tenuta al liceo Majorana di Orvieto una giornata di approfondimento sul tema della “scienza negata”. Pubblichiamo qui una sintesi dell’intervento del filosofo e storico della scienza Telmo Pievani. Online le sintesi degli altri interventi.



TELMO PIEVANI

Nel libro *La scienza negata*, il compianto storico della scienza Enrico Bellone spiega che cosa intende per “negazione della scienza” da due punti di vista differenti: uno culturale e uno politico. Nel primo caso, negare la scienza significa non capire che essa ha un valore culturale inestimabile. Nel secondo, significa che a non comprendere questo fatto sono addirittura la classe politica e i media. E oggi, nella “nuova agorà del web”, abbiamo anche un modo ulteriore di negare la scienza. Qualcuno lo ha definito “negazionismo scientifico”. Di che cosa si tratta? Non di un fronte unico, ma di un arcipelago di posizioni sugli argomenti più vari (dal tecno-millennarismo al riscaldamento climatico ritenuto un’invenzione), proposte da militanti del web che organizzano campagne finalizzate a negare dati scientifici corroborati e a diffondere bufale pseudo-scientifiche. Pur non avendo quindi l’importanza e la gravità del negazionismo storico, il negazionismo scientifico interessa vari campi del sapere: personalmente mi occuperò qui di quello evoluzionistico. Negli Stati Uniti in particolare, ma anche in Italia e in altri paesi, si assiste a una vasta diffusione di varie forme di negazionismo evoluzionistico all’interno della galassia dei siti web di ispirazione religiosa radicale e





Scarica le sintesi degli altri
interventi
link.pearson.it/BF91989



integralista. Oltreoceano si è sviluppato un certo dibattito attorno al fenomeno: molti si stanno interrogando sul perché funzioni e suscita interesse nonostante l'infondatezza delle argomentazioni, sul perché abbia un effetto così epidemico sul Web, su che cosa si possa fare per arginarlo.

Identikit del negazionista

Proprio a partire dal caso evoluzionistico si può tracciare una sorta di fenomenologia del negazionista scientifico, un personaggio che ha alcuni tratti tipici e ricorrenti, qualunque sia il suo campo d'azione.

Anzitutto il negazionista scientifico nega risolutamente qualsiasi legame con ideologie religiose, benché i suoi interventi appaiano su portali web fortemente connotati in tal senso. Nega insomma l'evidenza della sua appartenenza e cerca in ogni modo di darsi un sedicente statuto di scientificità, tanto che nelle sue campagne la parola "scienza" ricorre quasi ossessivamente.

In secondo luogo, usa una tattica molto efficace, tipica della propaganda ideologica, e cioè si pone in un'ottica minoritaria e vittimistica. Sostiene di fare controinformazione, di essere in dissenso nei confronti di una maggioranza schiacciante, potente, silenziosa. Gli studi di psicologia sociale mostrano che questa posizione offre un vantaggio immediato, perché l'idea di rappresentare una minoranza dissenziente rispetto a una presunta maggioranza ortodossa e dominante solletica le nostre simpatie liberali.

E ancora: il negazionista non prende mai gli argomenti del suo interlocutore in modo letterale e corretto, ma ne fa la caricatura, li semplifica e li storpia. È anche questa una tecnica molto usata in politica, soprattutto nelle campagne elettorali, conosciuta come "uomo di paglia": si prende un dettaglio del discorso dell'interlocutore, lo si radicalizza fino all'estremo e poi ci si concentra solo su quel dettaglio per attaccare l'intera visione dell'avversario.

Il negazionista è poi molto abile a distorcere le terminologie. Prende termini e concetti scientifici, ne offre una definizione fuorviante, la dà per scontata e poi la mette in discussione. Parte, cioè, da una falsa premessa e, se non si è abbastanza avveduti da



ORVIETO SCIENZA

Da diversi anni il liceo Ettore Majorana di Orvieto propone un approccio alla cultura scientifica e tecnologica che tiene conto anche dei problemi aperti tra scienza e tecnologia da una parte e società dall'altra. Nel solco di questa tradizione, nel 2013 ha deciso di dar vita a una giornata di riflessione dedicata a questi aspetti e aperta agli studenti del territorio e al pubblico in generale. Per la prima edizione di Orvieto Scienza – così è stata intitolato l'evento ideato e organizzato da Adele Riccetti e Peppe De Ninno – il tema scelto è stato quello della scienza negata e della seduzione delle pseudoscienze. Oltre a Telmo Pievani, hanno preso parte all'incontro con gli studenti Marco Ferraguti, professore di biologia evolutiva all'Università di Milano (*Come non insegnare l'evoluzione*), Carlo Alberto Redi, professore di zoologia e biologia dello sviluppo all'Università di Pavia (*Dalla descrizione alla sintesi del vivente*) e Pietro Greco, giornalista scientifico (*Perché sui media anche gli asini volano*). Nel 2014 si replica con una giornata su scienza e diritto: l'appuntamento è per il primo marzo del prossimo anno.

coglierla subito, tutto il suo ragionamento diventa plausibile.

Naturalmente il negazionista ha bisogno di falsi argomenti, che in campo evolutivista si autoalimentano ripetitivamente da circa 150 anni: dall'idea che non esista un rapporto tra la microevoluzione e la macroevoluzione, al presunto "fatto" che non sarebbero mai stati trovati fossili di transizione da una specie all'altra. Uno degli argomenti preferiti, che purtroppo in passato ha conquistato

anche alcuni autorevoli filosofi della scienza, sostiene che le scienze della vita in generale, e in particolare la spiegazione evolutivista, non siano falsificabili, cioè non corrispondano a uno dei criteri di base dello statuto scientifico. Questo è notoriamente falso. Oggi la spiegazione biologico-evolutivista produce una molteplicità di predizioni controllabili a tutti i livelli: dalle retrodizioni verificabili agli esperimenti in laboratorio, dal metodo comparativo a quello sperimentale, spesso facendo convergere su un

→ Tre crani raffiguranti il percorso evolutivo dell'*Homo sapiens*.



SHUTTERSTOCK



TELMO PIEVANI

ricopre la prima cattedra italiana di Filosofia delle Scienze Biologiche presso l'Università di Padova. È autore di numerose pubblicazioni e membro di varie società scientifiche. Fa parte del Comitato etico e di quello scientifico della Fondazione Umberto Veronesi e del consiglio Scientifico del Festival della Scienza di Genova.

modello prove indipendenti ed evidenze eterogenee. C'è un'ulteriore caratteristica di questa fenomenologia: la ricerca insistente e aggressiva del confronto, del cosiddetto "dialogo alla pari", con importanti scienziati che si occupano di una certa disciplina. Da notare però che il negazionista non ricerca il dialogo con rappresentanti qualunque delle comunità scientifiche, ma con scienziati che abbiano una certa visibilità, o comunque con personaggi pubblici. Polemizzano con un bersaglio non perché ha scritto articoli tecnici sulla teoria dell'evoluzione su riviste internazionali con *peer review*, ma perché qualche volta va in televisione e scrive sui quotidiani. L'obiettivo della polemica non sta dunque nel merito dei contenuti, ma nella speranza di ingaggiare un dibattito eclatante e di ottenere, per riflesso o per parassitismo, un certo grado di visibilità.

Elitaria o democratica?

Dietro questo atteggiamento si nasconde una visione totalmente errata della scienza che è bene affrontare con i ragazzi a scuola: la scienza non è un talk-show, non è un confronto di opinioni e, direi in modo più netto, non è nemmeno "democratica" nel senso politico del termine. Non lo è perché non si fa con i referendum, per votazioni, per maggioranze o minoranze. Non si fa con uno che si alza e dice la sua, magari sparandola grossa per farsi vedere. Non è democratica anche perché si basa su uno stato dell'arte in divenire: è sempre necessario partire da ciò che si conosce, da una letteratura di riferimento. Le sole opinioni non contano e comunque non tutte sono sullo stesso piano perché c'è da tenere in debita considerazione quella entità impalpabile che si chiama credibilità o reputazione, la quale è legata alla carriera di uno scienziato, al suo curriculum, al fatto che ha sottoposto le sue pubblicazioni alla comunità dei suoi pari che le ha approvate, al fatto che pubblica su certe riviste anziché su altre o che interviene in certi convegni anziché in altri. Questo non significa affatto avere una concezione elitaria della scienza. È anzi il contrario: significa che la scienza ha precise regole del gioco, è una forma di sapere, di critica e di crescita della conoscenza in cui a contare sono credibilità e argomentazioni basate su fatti. Tra l'altro, questo diventa un tema più generale, perché proprio attraverso il processo di acquisizione delle sue conoscenze, paradossalmente la scienza – che "democratica" in quel senso banale non è – offre un grande insegnamento per il dibattito civile e pubblico delle nostre democrazie. Sarebbe magnifico se anche nel dibattito pubblico generale, non solo scientifico, i diversi punti di vista fossero fondati su dati condivisi e su argomenti razionali.

Dibattere o non dibattere? Questo è il problema

Come deve reagire lo scienziato di fronte alla fenomenologia del negazionista? Ci sono diverse correnti di pensiero in proposito. Alcuni ritengono che tutte le espressioni sostanzialmente antiscientifiche o pseudoscientifiche debbano essere ignorate. Questa posizione ha valide ragioni dalla sua parte. Alla fine del 2001, poco prima di morire, il grande paleontologo ed evoluzionista Stephen J. Gould firmò una lettera insieme al suo acerrimo avversario, Richard Dawkins, in cui i due invitavano i colleghi evoluzionisti a non accettare più dibattiti con creazionisti in luoghi scientificamente accreditati. La lettera sosteneva che tenere questo tipo di dialoghi in una sede scientificamente riconosciuta permetteva al creazionista di raggiungere subito e a priori il suo



Richard Dawkins (foto) e Stephen J. Gould si sono espressi chiaramente contro l'idea che evoluzionisti e creazionisti possano dibattere in sedi scientificamente riconosciute.



risultato: sedersi sulla sedia di un Dipartimento, ottenendo automaticamente un credito scientifico. Per questo, i due scienziati suggerivano che fosse necessario dire di no.

Una seconda ragione a sostegno di questa ipotesi è che un simile dibattito non è leale: uno degli interlocutori nasconde armi segrete e colpisce sotto la cintola. Il negazionista ha gioco facile a comunicare le sue posizioni attraverso semplici slogan, che colpiscono, sono sintetici e funzionano molto bene, per esempio in televisione e su altri media che hanno ritmi serrati. Dall'altra parte, invece, c'è uno scienziato che deve argomentare, citare dati, spiegare, e per questo ha bisogno di più tempo e di un'attenzione diversa da parte di chi ascolta, che viene di fatto invitato a seguire un ragionamento. In effetti le statistiche condotte finora mostrano un dato sconcertante: per il pubblico che assiste a questi cosiddetti "dibattiti fra scuole di pensiero", quasi sempre lo scienziato perde il confronto e, al termine dell'incontro, il grado di credibilità delle informazioni scientifiche diminuisce invece che aumentare.

Un'ulteriore ragione per evitare questi incontri è il fatto che molte affermazioni pseudoscientifiche hanno un grande appeal anche sul piano cognitivo. Per esempio, sono spesso di tipo teleologico o dietrologico-animistico: esse solleticano corde sensibili e inducono pensieri che ci piacciono, che ci consolano. La scienza, al contrario, è contro-intuitiva e spesso impegnativa: per arrivare a un risultato è necessario lo sforzo; la strada è in salita. In queste condizioni non si sta giocando alla pari. La comunicazione è decisamente asimmetrica.

Incontrarsi in agorà

Non tutti, però, sono d'accordo con una posizione di netto rifiuto all'incontro. Per esempio il paleontologo Niles Eldredge propone questo criterio: se il dibattito si svolge in una sede scientificamente accreditata hanno ragione Gould e Dawkins e bisogna rifiutare. Se invece il dibattito si tiene in una "agorà pubblica", a cui tutti possono accedere, in cui ciascuno può esprimere il proprio orientamento, non partecipare rischia di essere dannoso: può dare l'immagine che il sapere scientifico sia chiuso in se stesso e timoroso di affrontare il dissenso. Al contrario, continua Eldredge, il sapere scientifico deve essere sempre aperto a qualsiasi tipo di interlocuzione e di critica. Quindi, nell'agorà pubblica, lo scienziato deve accettare il confronto con qualunque argomento e cercare di cavarsela, allenandosi alla controversia. Resta però il problema, molto serio, menzionato sopra: è come salire sul ring avendo contro non solo il pubblico, ma anche l'arbitro e le regole del gioco.



Che cosa ne pensava Darwin

Può essere interessante indagare la posizione di Charles Darwin al riguardo. L'ho scoperta di recente durante le ricerche nella sterminata corrispondenza darwiniana per un libro appena pubblicato (*Lettere sulla religione*, a cura di T. Pievani, Einaudi, Torino). Il volume raccoglie per la prima volta le lettere che Darwin scrisse dal 1839 in avanti nelle quali affronta i temi della religione, della fede e della teologia. In questa edizione critica, grazie alla traduzione di Isabella Blum, è finalmente possibile ricostruire il suo percorso travagliato dal teismo all'agnosticismo, con i suoi ripensamenti e le sue incertezze.

In una lettera scritta in vecchiaia, negli anni settanta dell'Ottocento, un corrispondente chiede a Darwin perché non accettasse di partecipare ai dibattiti pubblici, mentre in Inghilterra e in tutto il mondo la sua teoria suscitava reazioni di ogni sorta. Darwin si giustifica con diversi argomenti: non partecipa per carattere schivo e problemi di salute, trova questi dialoghi inutili, e poi vi partecipano già Thomas H. Huxley e altri colleghi ben più agguerriti, con ottimi risultati. Aggiunge quindi un aspetto metodologico interessante. Sul tema dell'evoluzione, secondo il naturalista inglese, è possibile accettare come interlocutore soltanto colui che soddisfi due condizioni: che sia in buona fede e che abbia una conoscenza, sia pure minimale, dell'argomento in discussione. Mi pare un ottimo suggerimento ancora oggi.



SHUTTERSTOCK

Scienza e “cosa pubblica”

Vorrei cogliere un ultimo aspetto: nell'agorà pubblica è talvolta necessario andare, in effetti, affinché la platea dei non esperti non sia esposta a un dibattito squilibrato e possa almeno sentire posizioni diverse.

Non solo: la questione delicata riguarda tutti i casi in cui le posizioni pseudoscientifiche intervengono, spesso pesantemente, nel governo della cosa pubblica.

Come ci si deve comportare quando questa cultura antiscientifica o pseudoscientifica penetra per esempio in qualche corridoio ministeriale e si traduce in un cambiamento dei programmi della scuola pubblica italiana? È successo qualche anno fa. Come reagire quando questa cultura penetra nei corridoi del CNR e produce un convegno creazionista i cui atti sono poi finanziati dallo stesso CNR? O quando si mette a circolare nei corridoi delle scuole?

In queste situazioni, secondo me, non intervenire è rischioso perché significa lasciare la gestione della cosa pubblica ad altri. È un tema delicatissimo che, nel caso della scuola, riguarda la libertà dell'insegnamento. Siamo d'accordo che questa libertà debba essere sempre difesa, ma chiedo: si tratta di una libertà assoluta? Oppure si tratta di una libertà che può incontrare limiti oggettivi e ragionevoli? E se esistono limiti, stanno a valle, cioè nella predisposizione di programmi che devono essere poi rispettati da tutti, oppure a monte, cioè

nella selezione e nella valutazione in itinere degli insegnanti?

Non ho risposte, però è un tema secondo me ineludibile. E come ha più volte sottolineato il giornalista scientifico Pietro Greco, casi come quelli citati mostrano quanto in Italia manchi una riflessione seria su quale tipo di voce pubblica debba avere la comunità scientifica.

Un'Authority per la scienza?

Così torniamo al problema del peso della cultura scientifica nel nostro paese e alla denuncia di Enrico Bellone. È necessario, a mio avviso, affrontare anche in Italia la questione dell'istituzione di una Authority indipendente – che sia l'Accademia Nazionale dei Lincei o un'altra struttura ad hoc, sul modello della Royal Society o delle National Science Foundations – che con l'autorevolezza necessaria abbia il compito di illustrare ai media, ai politici e agli interlocutori delle agorà pubbliche lo stato dell'arte su determinate questioni scientifiche.

Penso che sia molto pericoloso lasciare questo vuoto. Si pensi per esempio al dibattito sull'adozione di bambini da parte delle coppie omosessuali. Sui quotidiani si trovano posizioni antitetiche: alcuni sostengono che recenti studi condotti negli Stati Uniti dimostrano che il bambino adottato da una coppia omosessuale manifesta addirittura una maggiore tendenza al suicidio; altri, invece, sostengono che studi scientifici mostrano l'esatto contrario, ovvero che non vi è alcun effetto significativo. Una persona che non sia esperta del dibattito scientifico in corso tra gli psicologi sul tema quale idea si potrà fare, se da entrambe le parti la scienza è stratonata e citata a sostegno di tesi opposte?

In casi come questo avere una fonte autorevole che certifichi gli studi e che presenti le diverse posizioni in campo nella comunità scientifica, con i loro aggiornamenti e le eventuali incertezze, può essere molto utile. Dirò di più: è un servizio consultivo fondamentale che deve essere offerto al pubblico, alle classi dirigenti, ai mass media e ai politici prima che intervengano a sproposito come avviene purtroppo spesso su questioni legate alla scienza. ●

INVADENTE ma cosciente

Consumo di risorse, cambiamenti climatici, erosione della biodiversità: l'impatto di *Homo sapiens* sul nostro pianeta è ormai pesantissimo. Il giornalista scientifico Pietro Greco racconta a che punto siamo.

■ ■ ■ ■
PIETRO GRECO

L'essere umano, un attore ecologico globale. Che sa di esserlo. *Homo sapiens* si trova da qualche tempo in questa doppia condizione, del tutto inedita nella storia della vita sulla Terra. È, infatti, l'unica tra i 2 milioni di specie animali classificate o, se si vuole, tra i 5 o forse 30 milioni di specie animali a noi ancora sconosciute, capace di interferire con i cicli biogeofisici e biogeochimici del pianeta. Inoltre *Homo sapiens* ha acquisito, piuttosto di recente, notevole consapevolezza del suo ruolo ecologico, a ogni scala, compresa quella globale. Ci sono almeno tre prove evidenti del ruolo globale recitato dall'essere umano: il consumo di risorse naturali (energetiche e materiali) da parte della nostra economia ha raggiunto un ordine di grandezza paragonabile a quello dell'economia dell'intera biosfera; siamo concausa dell'accelerazione nella dinamica del clima terrestre; siamo concausa dell'erosione della biodiversità.



Un super consumatore

È il giugno 1986 quando Peter Vitousek e i coniugi Paul e Anne Ehrlich, ecologi dell'Università di Stanford, insieme alla collega Pamela Matson del NASA-Ames Research Center, pubblicano sulla rivista "BioScience" un articolo intitolato *Human Appropriation of Photosynthesis Products* in cui per la prima volta si effettuano alcuni calcoli sull'utilizzo umano della produzione netta primaria di energia (NPP). Si tratta dell'energia che gli organismi capaci di fotosintesi mettono a disposizione della biosfera dopo aver catturato l'energia solare, averla trasformata in energia biochimica e aver



Scarica l'approfondimento
link.pearson.it/95077FD5



📍 **Dubai, simbolo della nuova era geologica definita "Antropocene".**

trattenuto il necessario per vivere. Questa energia può essere valutata considerando il suo prodotto materiale, la materia organica secca, che ammonta secondo i calcoli dei quattro studiosi a 224,5 Pg (petagrammi) ogni anno, cioè 224,5 miliardi di tonnellate. Gli organismi fotosintetici sulla terraferma producono il 59% del totale della NPP contro il 41% di quelli che vivono in acqua (soprattutto negli oceani). Ebbene, sostengono Vitousek e collaboratori, l'essere umano si appropria in maniera diretta o indiretta del 40% della NPP prodotta sulla terraferma e del 25% della NPP totale. Per la

precisione, si appropria di 7,2 Pg di materia organica (poco più del 3% della NPP totale) attraverso la coltivazione di piante, l'allevamento di animali, la pesca e l'uso di legno e di altri 42,6 Pg (19% del totale) modificando gli ambienti in cui interviene (per esempio con la deforestazione o la cementificazione). A tutto questo vanno aggiunti 17,5 Pg di materia organica secca che poteva essere potenzialmente prodotta senza l'interferenza dell'attività umana.

Nuove conferme

I calcoli di Vitousek e collaboratori costituiscono la base che consente alla fine degli anni ottanta a Herman Daly, Robert Costanza e agli altri fondatori di una nuova disciplina economica, la Ecological Economics, di affermare che l'economia umana ha ormai raggiunto i livelli di quella della natura e che un'ulteriore crescita è ecologicamente insostenibile.

Negli anni successivi, comunque, molti altri studiosi hanno ricalcolato l'uso umano della NPP ridimensionando un po' le valutazioni di Vitousek, ma confermandone l'ordine di grandezza. Nel 1990 David Wright calcola un'appropriazione umana della NPP terrestre del 24%. Nel 2001 Stuart Rojstaczer la valuta pari al 32% della NPP terrestre. Tre anni dopo Marc Imhoff la riduce al 20%, mentre nel 2007 Helmut Haberl, oltre a una mappa precisa dei luoghi dell'appropriazione (quelli in cui l'uomo interviene con agricoltura, allevamento, deforestazione, cementificazione ecc.) fornisce una valutazione analoga a quella di Wright (24%).

C'è, dunque, un'estesa letteratura scientifica che mostra come una singola specie si approprii ormai di una quantità rilevante dell'energia biochimica disponibile per l'intero ecosistema globale.

L'era di *Homo sapiens*

Ma non c'è solo l'energia, come indica lo stesso Peter Vitousek in un articolo dal titolo piuttosto esplicito – *Human Domination of Earth's Ecosystems* – pubblicato nel 1997 su "Science". L'essere umano ha trasformato oltre il 50% della superficie terrestre, è responsabile di almeno il 30% del biossido di carbonio oggi presente in atmosfera e di quasi il 60% del processo di fissazione dell'azoto; utilizza quasi il 60% delle acque potabili accessibili; ha determinato la scomparsa di quasi il 25% delle specie di uccelli; pesca quasi il 60% di alcune specie di pesci presenti nei mari e negli oceani. Insomma, l'impatto umano sull'ambiente è tale da giustificare il termine "dominazione". Anzi



PHOTOS.COM

L'incremento della concentrazione di CO₂ è in piena accelerazione per opera dell'uomo.

Un trend eclatante

Nel mese di aprile 2013 i ricercatori del centro che la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) degli Stati Uniti possiede a Mauna Loa, nelle Hawaii, hanno misurato una concentrazione in atmosfera di biossido di carbonio (CO₂) superiore a 400 parti per milione (ppm), un livello mai raggiunto negli ultimi quattro milioni di anni e dunque mai visto prima dall'intero genere *Homo*, comparso 2,5 milioni di anni fa.

Ma non basta. I dati di Mauna Loa indicano un trend in crescita accelerata. Il centro è stato tra i primi al mondo a misurare con regolarità la concentrazione di CO₂ in atmosfera, a partire dal 1958, quando il livello era pari a 316 ppm. Più alto del livello di 280 ppm caratteristico dell'epoca preindustriale, ma non di molto (+ 13%). In media tra l'inizio del XIX secolo e il 1958, la concentrazione di CO₂ è aumentata di 0,2 ppm per anno. Da allora, però, i ricercatori hanno verificato che l'aumento del gas in atmosfera è in continua crescita accelerata: 350 ppm nel 1988, con un aumento di 1,1 ppm per anno; 390 ppm nel 2008 (aumento annuo di 2,0 ppm) e ora 400 ppm, con un aumento annuo di 2,5 ppm [3]. Rispetto all'epoca preindustriale, oggi in atmosfera si registra il 43% di CO₂ in più. E questo aumento, sostengono gli esperti che le Nazioni Unite hanno raccolto nell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), è quasi tutto opera dell'uomo.

Per di più ad aumentare non è solo la concentrazione di biossido di carbonio. Ci sono anche altri gas serra come il metano, il cui incremento è dovuto di nuovo ad attività umane, gli ossidi di azoto e i clorofluorocarburi (CFC). Cosicché se teniamo conto dell'intero "pacchetto" oggi abbiamo una concentrazione equivalente di CO₂ in atmosfera pari a 478 ppm. Questo aumento costituisce l'impronta umana sul clima, perché accelera i cambiamenti del sistema climatico a livello globale, determinando un aumento della temperatura media del pianeta, che oggi è di circa un grado superiore a quella dell'epoca preindustriale.



PIETRO GRECO

è giornalista scientifico e scrittore. È direttore della rivista *Scienza&Società* del Centro Pristem dell'università Bocconi, condirettore del web journal *Scienzainrete* e coconduttore del programma *Radio3Scienza*.

Panoramica sulla biodiversità

L'altro proscenio naturale dove l'essere umano recita la sua parte di attore globale è quello della biodiversità cioè, nella definizione degli esperti, l'insieme della varietà e della variabilità tra gli organismi viventi e dei complessi ecologici in cui gli organismi vivono. Per comodità e sapendo di incorrere in una semplificazione, noi ridurremo il concetto a «numero di specie diverse viventi sul pianeta Terra».

Ebbene, noi non sappiamo esattamente quante siano le specie che oggi vivono sul nostro pianeta, però sappiamo che, nel corso dei quasi 540 milioni di anni di storia della vita animale, la diversità biologica è andata progressivamente aumentando, malgrado periodiche estinzioni che, in almeno cinque casi, hanno fatto sparire dalla faccia della Terra oltre il 60% delle specie (grandi estinzioni di massa). L'ultima è avvenuta 65 milioni di anni fa, causando la sparizione (o, secondo alcuni, l'evoluzione) dei dinosauri e la definitiva affermazione dei mammiferi. Dopo ciascuno di questi drammatici crolli della biodiversità, il numero di specie ha rapidamente recuperato il livello precedente e poi ha continuato ad aumentare. Inoltre conosciamo la velocità con cui scompaiono gli habitat (per esempio, attraverso la deforestazione); siamo in grado di fare una valutazione abbastanza accurata del numero di specie viventi per unità di area in un habitat e di elaborare una stima dell'area occupata dai vari habitat. Siamo, quindi, in grado di calcolare o almeno di stimare quante specie viventi in questo momento stanno scomparendo dal pianeta.

– sostiene poco dopo Paul Crutzen, premio Nobel per la chimica – il ruolo di *Homo sapiens* sul pianeta è stato così decisivo soprattutto negli ultimi due secoli da giustificare per la nostra era geologica la definizione di "Antropocene". Qualche altro dato rende ancora meglio il concetto: nel 2005 gli scambi internazionali di beni materiali hanno raggiunto i 10 miliardi di tonnellate in peso, con una crescita del 350% rispetto al 1970 [1]. L'impronta ecologica complessiva, introdotta da Mathis Wackernagel per misurare il rapporto tra l'uso delle risorse materiali ed energetiche da parte dell'essere umano e la capacità degli ecosistemi di rigenerarle, era del 70% nel 1969 e ora ha raggiunto il 150% [2]. Significa che se nel 1969 consumavamo molto, ma comunque un po' di meno dei capitali che la natura riesce a riprodurre, oggi alla fine di luglio di ogni anno abbiamo già speso tutto il reddito e agli inizi di agosto iniziamo a intaccare il conto dei "capitali della natura" depositati nella banca del pianeta. *Homo sapiens* è dunque diventato un attore ecologico primario. E gli effetti della sua azione sono misurabili anche a scala globale. Come dimostrano i cambiamenti del clima e l'erosione della biodiversità.



COME STANNO I POZZI?

Secondo i dati raccolti per il Global Carbon Project [5] dal gruppo di ricerca di Corinne Le Quéré, climatologa della University of East Anglia di Norwich, ogni anno l'umanità immette in atmosfera 10,4 miliardi di tonnellate di carbonio. Solo la metà è assorbita da "pozzi" a terra o negli oceani, mentre l'altra metà resta in atmosfera e contribuisce all'aumento della concentrazione del gas.

Nella comunità scientifica è attualmente in corso un dibattito sulla "tenuta dei pozzi". Secondo alcuni ricercatori la capacità che la terraferma e gli oceani hanno di assorbire una quantità consistente del biossido di carbonio di origine antropica non è ancora andata perduta. Altri invece sostengono che il sistema sia sul punto di rompere l'equilibrio: è come se i "pozzi" stessero per colmarsi, perdendo progressivamente la loro capacità di assorbimento. Se questo secondo gruppo di esperti ha ragione, nel prossimo futuro l'aumento di CO₂ in atmosfera tenderà a un'ulteriore accelerazione e crescerà fino a 3 o 4 ppm per anno.

Verso la sesta estinzione di massa?

Secondo le stime dell'entomologo americano Eduard O. Wilson questo numero ammonta a circa 27 000 specie all'anno: 3 ogni ora [4]. Al calcolo è associato un grosso errore cosicché alcuni lo ritengono esagerato per eccesso altri sbagliato per difetto. Quasi tutti gli esperti, tuttavia, ritengono che il tasso di estinzione delle specie oggi viventi non solo è di gran lunga più elevato del tasso di nascita di nuove specie, ma è 1000, 10 000 o, addirittura, 100 000 volte superiore al background naturale, ovvero al tasso di estinzione medio in periodi "normali". La sparizione è così accelerata che non si conoscono altre epoche storiche in cui le specie si siano estinte in modo così rapido: neppure nel pieno delle grandi estinzioni di massa.

Sulla base di questi indizi, molti biologi concludono che viviamo nel pieno di un fenomeno di estinzione, che se questo processo continuerà immutato, nel giro di poche decine di anni si trasformerà in un'estinzione di massa e che una delle principali cause, se non la principale in assoluto, di questa erosione di biodiversità risiede nelle attività umane, in particolare nella distruzione e inquinamento degli habitat.

Coscienza globale

Ancora una volta, dunque, l'essere umano emerge come un attore ecologico globale. Piuttosto invadente. Ma anche cosciente. E questo lo mette, almeno potenzialmente, in condizione di applicare un principio di razionalità: non tagliare il ramo dell'albero dove è seduto.

A ben vedere, infatti, la grande novità del nostro tempo non è il fatto che l'uomo è un attore ecologico che opera a scala globale, ma il fatto che "sa" di esserlo. Già in passato, infatti, *Homo sapiens* ha dimostrato di avere un ruolo globale, per esempio con l'invenzione dell'agricoltura e dell'allevamento. Tuttavia gli uomini che

2000 anni fa trasformavano il pianeta non sapevano di farlo e dunque non potevano evitare gli effetti indesiderabili delle loro azioni.

Oggi noi sappiamo che stiamo modificando il pianeta, abbiamo cioè una "coscienza ecologica globale". In realtà questa "coscienza enorme" non basta da sola a prevenire gli effetti delle nostre azioni. Occorre che essa si trasformi in azione politica organizzata, come è cominciato ad accadere a partire dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo di Rio de Janeiro, nel 1992. Nonostante diversi successi – le aree forestali in Europa e in altre parti del mondo tendono ad aumentare, i CFC sono stati messi al bando, sono state intraprese azioni per limitare le emissioni di gas serra o per tutelare la diversità biologica – la storia di questi anni dimostra però quanto questa trasformazione sia difficile.

L'uomo è un attore ecologico globale che conosce la sua parte, ma non ha ancora imparato a recitarla. ➔



PHOTOS.COM



RIFERIMENTI

- 1 *World Economic Situation and Prospects*, DESA, UN, 2012. link.pearson.it/BB3EA76
- 2 *World Footprint. Do we fit on the planet?*, Global Footprint Network. link.pearson.it/7CB4DAE0
- 3 *Mauna Loa CO2 data*, Mauna Loa Observatory. link.pearson.it/E2D04F43
- 4 E.O. Wilson, *La diversità della vita*, Rizzoli, Milano 2009.
- 5 www.globalcarbonproject.org

E quindi uscimmo a fotografar le STELLE



LUCA CARIDÀ

➔ **Rotazione terrestre ripresa in prossimità dell'equatore celeste; il Polo Nord Celeste è in alto a sinistra, appena fuori dal fotogramma. L'immagine è stata creata utilizzando 2,5 ore di scatti in sequenza montati con il programma STARTRAILS**



CORTESIA MARCO BASTONI

Chi sa resistere a un cielo stellato? O alla meraviglia della Luna che fa capolino dal profilo argenteo di una montagna? La fotografia astronomica, che ha come soggetto corpi celesti quali il Sole, la Luna, le comete e, ovviamente, stelle e galassie, è un genere molto amato e praticato. Ma richiede pazienza, passione e, talvolta, strumenti fuori dal comune.

Un altro mondo

Per parlare di astri e fotografia abbiamo incontrato Marco Bastoni (www.astrofoto.it), giovane fotografo e astrofilo parmigiano: «Ho cominciato a 8 anni ed è stato subito amore. La prima fotografia astronomica l'ho scattata nell'aprile del '96, alla cometa Hyakutake». Ma la fotografia astronomica è alla portata di tutti o un lusso per pochi? «È un genere che ha dell'etereo, del metafisico. Se si possiede il desiderio di raggiungere un "altrove" e proiettarsi nella vertigine dello spazio, lasciando per un po' il mondo di ogni giorno, non ci sono difficoltà tecniche davvero insuperabili.» Incontrare le profondità del cielo, però, non è così facile. «L'inquinamento luminoso è un nemico agguerrito: nei centri abitati, dal punto di vista del fotografo astronomico, il cielo semplicemente non si vede. Il primo passo è perciò trovare un luogo dove l'osservazione sia buona: fuori città, in

campagna, ovunque purché lontano dalle luci artificiali». Poi bisogna fare i conti con un cielo in fuga perenne. «La Terra sfreccia nello spazio a grande velocità, di fronte a uno sfondo di stelle praticamente immobili. È come fotografare una lampadina lontana, nel buio, mentre si è seduti su una giostra che gira: è inevitabile che l'immagine risulti mosca. Esistono perciò soluzioni tecniche che "inseguono" la volta celeste, facendo apparire fermi corpi che vediamo, per moto relativo, in movimento». Sono proprio questi sistemi a costituire la "specialità tecnica" della fotografia astronomica: si tratta di motori che orientano lo strumento fotografico in modo che mantenga sempre la stessa orientazione rispetto alle stelle. Facendo ruotare lo strumento su un asse parallelo all'asse terrestre e con la stessa velocità angolare, anche nelle lunghe esposizioni le stelle appaiono immobili. È una soluzione analoga a quella del *panning* (*Fotografare la velocità*, in "Linx Magazine" 14).

A portata d'occhio

Non tutto lo spazio è però profondo: abbiamo almeno due corpi celesti alla nostra portata: la Luna e il Sole. «Le eclissi, in entrambi i casi, sono eventi spettacolari» sostiene Bastoni. «Per fotografarle, bisogna essere preparati e

non improvvisare al momento. La Luna ha una buona luminosità, ma "corre" parecchio. Per fotografarla, in eclissi o meno, basta un buon cavalletto, un medio teleobiettivo (attorno ai 200mm) e un diaframma impostato attorno a 8. Attenzione ai tempi: sotto il 125mo di secondo l'effetto mosso è praticamente inevitabile.» Più fortunata, o ricercata, è l'esperienza di fotografare un'eclissi totale di Sole. Quando avviene, il fenomeno è visibile solo dalla cosiddetta "fascia di totalità", un'area geografica che ha un diametro di base al massimo di 150 km. «Quando la Luna comincia a coprire il Sole, si scatta con un filtro in Mylar, materiale ottenuto dalla lavorazione del polietilenterefalato, che taglia più del 99% della luce solare. Senza, l'immagine sarebbe illeggibile. Quando si arriva alla copertura totale si leva il filtro e, con un 200 mm, si espone ogni volta per un paio di secondi, fotografando lo spettacolo della corona». La notte durante il giorno, i fiori che si chiudono, un vento innaturale, le stelle brillanti in cielo: «Le eclissi di Sole sono il fenomeno più bello e maestoso al quale abbia mai assistito: credo che ognuno, almeno una volta nella vita, dovrebbe potervi assistere».

Puoi contattare l'autore all'indirizzo [luca.carida\[at\]lineacurva.org](mailto:luca.carida[at]lineacurva.org)



Ora tocca a te

TRACCE DI STELLE

Ottenere un ritratto della volta celeste che rappresenti le stelle "ferme" ci pone di fronte alla necessità di reperire oggetti tecnici costosi e complessi, come un motore "a inseguimento". Tuttavia, la fotografia del cielo (o di qualcosa che lo "simuli") non ci è preclusa anche disponendo di una normale macchina fotografica e di un cavalletto.

Immagini a effetto

A causa della rotazione terrestre, le stelle sembrano muoversi nella direzione opposta al senso della rotazione stessa. Poiché la Terra, in un giorno, ruota di 360° attorno al proprio asse, ogni ora vedremo le stelle muoversi di circa 15°. Se dunque utilizziamo esposizioni sufficientemente lunghe, di una o due ore, possiamo catturare la scia che la stella, in moto apparente, lascia dietro di sé. Se includiamo nell'inquadratura un elemento paesaggistico, come un edificio o delle montagne, possiamo ottenere effetti altamente scenografici.

Come un pendolo

Sfruttando lo stesso principio, possiamo esplorare la fisica di un oggetto molto più banale: il pendolo. Costituito da una massa sospesa da una fune non elastica, il pendolo è un celebre protagonista dei libri di fisica: soggetto alla forza di gravità, oscilla con un periodo costante. Questo fenomeno, individuato da Galileo, si traduce nella formula $T = 2\pi (l/g)^{1/2}$, valida per oscillazioni piccole rispetto alla lunghezza della fune. Sfruttiamo queste oscillazioni isocrone per ottenere "strisciate" che ricordano quelle prodotte dalle stelle e ragionare sul moto del pendolo.

Materiali

- filo (1,5 m o 2 m)
- minitorcia a led
- cavalletto
- una macchina fotografica con posa B, o con la possibilità di esposizione manuale



Allestimento del set

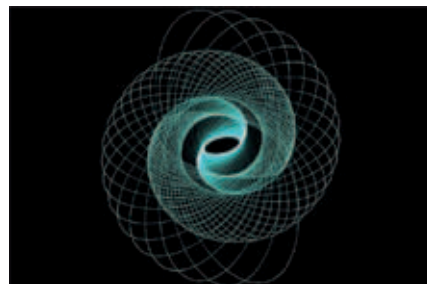
Fissa un'estremità del filo alla minitorcia, quindi trova un punto molto in alto dove vincolare l'altra estremità, in modo da avere campo libero nell'area sottostante. Lì posiziona la macchina fotografica, sistemata sul cavalletto e rivolta verso l'alto, perpendicolarmente al punto di riposo del pendolo (vedi figura).

Impostazione della fotocamera e scatto

Sistema al centro dell'inquadratura la "massa", ossia la torcia: dopo aver selezionato la messa a fuoco manuale (MF), metti bene a fuoco gli elementi luminosi. Scegli una sensibilità (ISO) piuttosto bassa (per esempio 200) e un diaframma piuttosto chiuso (5,6; 8). Infine, imposta la macchina in modalità B (bulb), oppure con un tempo di esposizione lungo (20" o 30"). Accendi la torcia e spegni tutte le luci, cercando di avere quanta più oscurità possibile. Tira il peso del pendolo verso di te e spingilo leggermente di lato: otterrai così un moto circolare che si sommerà all'oscillazione naturale del pendolo stesso. È il momento di scattare! Dovrai verosimilmente fare più di un tentativo, variando i tempi di esposizione, il diaframma e lo zoom della fotocamera, per ottenere un risultato che ti soddisfi.

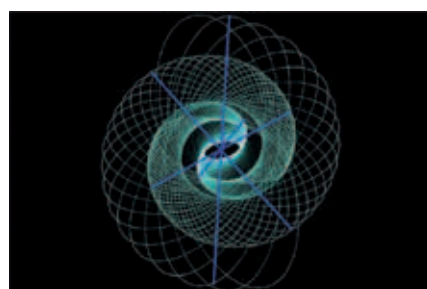
Risultato

Con un po' di impegno, potrai ottenere risultati se non proprio identici a quello mostrato in figura, quantomeno piuttosto somiglianti.



Le "scie" provocate dalla torcia rappresentano la proiezione (approssimativamente ortogonale) sul piano del supporto sensibile della fotocamera degli archi descritti dal pendolo durante il suo moto. Ognuna di queste oscillazioni si è compiuta nello stesso tempo: ciò che è cambiata è stata la quantità di spazio percorsa, ovvero la velocità media della massa del pendolo, durante ogni oscillazione. E quanto è cambiata, da una oscillazione all'altra? Puoi averne un'idea qualitativa misurando l'ampiezza delle tracce della luce nella fotografia.

Traccia delle linee passanti per il centro di oscillazione e misura le ampiezze di diverse oscillazioni, ordinandole poi in ordine decrescente.



La differenza fra le lunghezze di due linee dà un'idea di quanto più lentamente o più velocemente si stesse muovendo il pendolo durante due particolari oscillazioni. Con un po' di attenzione, puoi verificare ciò che già intuitivamente potevi immaginare: il pendolo rallenta molto di più durante le prime oscillazioni, mentre si muove con una velocità media sempre meno decrescente mano a mano che le oscillazioni si fanno più piccole.

L'ARTE DI VINCERE

Maurizio Codogno critico cinematografico per un giorno



Titolo originale Moneyball
Genere Sportivo
Anno 2011
Paese Stati Uniti
Produzione Michael De Luca, Rachael Horovitz, Brad Pitt
Regia Bennet Miller
Cast Brad Pitt, Jonah Hill, Philip Seymour Hoffman, Robin Wright
Soggetto scientifico Statistica, matematica



MAURIZIO CODOGNO
 laureato in matematica e informatica, si occupa da lungo tempo di divulgazione matematica su Internet, privilegiando un approccio pratico e meno legato alle formule. È autore del libro *Matematica in relax* (Vallardi, Milano 2011).

LA TRAMA

La stagione 2001 dei campionati americani di baseball è terminata, gli Oakland Athletics sono stati eliminati dagli New York Yankees nella fase finale e il general manager della squadra, Billy Beane, si trova ancora una volta con lo stesso problema: i giocatori migliori verranno venduti per fare cassa, mentre a lui verrà chiesto di assemblare comunque una squadra vincente.

Durante una trattativa con il suo omologo dei Cleveland Indians, Beane nota un giovane consulente occhialuto e sovrappeso: è Peter Brand, laureato in economia a Yale. Brand non ha mai giocato a baseball, ma ha studiato le dinamiche dei vari giocatori ed è convinto che il metodo applicato generalmente per selezionare i componenti delle squadre sia ben lontano dall'ottimale. Per capire meglio, Beane gli chiede a bruciapelo se l'avrebbe selezionato da giovane: il manager era stato un ragazzo prodigio e gli scout se lo erano conteso, anche se poi la sua carriera era stata mediocre. Brand risponde mostrando i dati statistici allora disponibili, secondo i quali Beane era appunto un giocatore bravo ma non eccezionale. A questo punto il manager decide di assumere il consulente perché lo aiuti a costruire una squadra vincente con un limitato budget a disposizione, scegliendo giocatori sottovalutati dalle altre squadre ma i cui dati statistici sono positivi.

L'inizio del nuovo campionato è deludente, anche perché l'allenatore degli Athletics, Art Howe, disapprova le scelte di Beane e si ostina a far giocare l'unica stella rimasta, Carlos Peña. Solo quando Beane lo cede a un'altra squadra a metà stagione, costringendo Howe a seguire le indicazioni di Brand, le cose cambiano, e gli Athletics vincono il loro girone. Nella fase finale saranno comunque eliminati, ma Beane intanto è riuscito a dimostrare che, almeno nella costruzione di una squadra di baseball, la statistica è più importante dell'intuito.

IL COMMENTO

Il baseball è lo sport nazionale degli Stati Uniti, e probabilmente la fonte principale di esposizione della popolazione americana alla statistica: i quotidiani hanno tabelle su tabelle con le prestazioni delle squadre e dei singoli giocatori, numeri su numeri che, lungi dall'intimidire il lettore, sembrano anzi parte fondamentale del gioco...

Anche se forse sono visti più come mantra da recitare con fede che come ausili per una predizione migliore sui risultati futuri.

Da questo punto di vista Moneyball, che è basato su una vicenda realmente accaduta, fa un buon lavoro nello spiegare al pubblico come la statistica sia una scienza a tutti gli effetti, e non un modo per "divinare" risultati. Premesso questo, però, bisogna riconoscere che la visione della statistica presentata nel film è comunque troppo semplicistica e può dar luogo a incomprensioni.

I termini "statistica" e "probabilità" vengono spesso confusi, ma tra i due c'è una differenza di base. In entrambi i casi si tratta di fare ipotesi su quello che accadrà, partendo da una conoscenza dei fatti incompleta – altrimenti non si farebbero ipotesi ma deduzioni! Nella probabilità, però, si definisce un modello teorico, che si suppone valido a priori.

Per esempio, se si lanciano due dadi la probabilità che la somma dei punteggi





WEBPHOTO

sia 5 è pari a un nono, e questo lo si ricava supponendo che i dadi siano ben bilanciati e che quindi a ogni lancio possa uscire qualsiasi faccia indifferente. Nel caso della statistica, invece, si parte da un insieme di dati osservati e si cerca di inferire quale possa essere il modello teorico che li ha prodotti. La statistica permette inoltre non solo di "prevedere" le cose, ma anche di calcolare di quanto tipicamente ci sbagliamo (quando viene data una stima dei valori minimi e massimi che si possono ottenere) e addirittura di valutare se e quanto il modello ipotizzato regga alla prova dei fatti. Quello che manca nel film è appunto questa parte "dinamica" nell'analisi statistica dei dati. È vero che una percentuale più alta di presenze in base porta probabilmente a un risultato migliore in partita, ma vedendo il film sembrerebbe che da un semplice numero si possa ricavare una risposta se non definitiva certamente immutabile. Nella realtà, invece, ci si chiede anche qual è la probabilità di avere una squadra vincente anche se qualcosa va male. In pratica, se io in media riesco a battere nel 40% dei casi, è chiaro però che avrò giornate di grazia con una percentuale maggiore di successo e giornate storte che vanno peggio; la statistica permette di considerare questa ulteriore complicazione, come pure di valutare i giocatori come squadra, e non singolarmente. Beane era stato scelto perché "giocatore completo", ma in una squadra è meglio avere più giocatori specializzati che sappiano amalgamarsi bene e che insieme possano coprire tutti i ruoli. Nel film, per esempio, Beane chiede al neoassunto Brand come rimpiazzare un campione appena ceduto: dopo averne valutato i parametri statistici, il campione suggerisce di sostituirlo non con uno ma con tre giocatori "minori" che, messi insieme, saranno un rimpiazzo valido, ma con un costo di ingaggio complessivamente minore.

Il punto di forza del film – che del resto non può essere un trattato matematico – è proprio questo: mostrare in modo vivido che la matematica (in questo caso la statistica) è "sexy". Le formule matematiche non sono necessariamente aride, come potrebbe sembrare a chi è costretto a impararle a memoria: quando vengono capite (non "imparate", mi raccomando!) possono venire usate per giungere a risultati migliori di quelli ricavabili con il semplice buonsenso che, come dicono proprio gli statistici, è "biased" cioè non è obiettivo. Un'ultima curiosità. Quella di Moneyball, come si diceva, è una storia vera, raccontata nel 2004 in un libro omonimo. Ma il film del 2011 non è stata la prima trasposizione artistica! Un cartone animato dei Baby Looney Tunes del 2005 ("Take Us Out to the Ballgame") racconta una storia simile, con una Lola Bunny maniaca delle statistiche, che riesce a convincere l'allenatore dei Roosters a far battere all'ultimo inning una riserva, che naturalmente dà la vittoria alla squadra del cuore dei Baby Looney Tunes. Ed esiste anche una puntata dei Simpsons, "MoneyBART", tratta dal libro: ma potete immaginare che in quel caso l'effetto è solo parodistico. Insomma, non è mai troppo presto per imparare a conoscere l'utilità delle statistiche! ➔



IN RETE!

Il Film Scheda dell'Internet movie database.
link.pearson.it/E237F76E

Istat per studenti e docenti Due pagine didattiche sul sito dell'Istituto nazionale di statistica: *Il valore dei dati* (link.pearson.it/7C5362CD) e *Statistica per esempi* (link.pearson.it/B54525B)



ESPANSIONI

Libri, siti, video, app: sono moltissimi i prodotti che parlano di scienza (o che ci giocano). Anche voi lettori – docenti, studenti o classi intere – avrete sicuramente i vostri “preferiti”, da suggerire a colleghi e compagni. Potete inviarci le vostre segnalazioni, con una breve presentazione, all’indirizzo linxmagazine@pearson.it

LIBRI



ARIA PULITA

Lavaggi stradali, vernici antismog, più alberi? C'è chi propone di combattere così l'inquinamento atmosferico, ma per Stefano Caserini, ingegnere ambientale docente al Politecnico di Milano, si tratta solo di deboli palliativi. La vera lotta al PM10 si gioca su altri tavoli, come il traffico e l'efficienza energetica degli edifici. Proprio di questo – dell'aria pulita e delle vie per ottenerla, con inevitabili ricadute sul grande tema dei cambiamenti climatici si occupa questo agile libretto: pratico e “combattivo”.

Stefano Caserini, *Aria pulita*, Bruno Mondadori, Milano 2013, € 14,00.



STORIE SEGRETE DEGLI ELEMENTI

Dietro a ogni simbolo chimico non si nasconde soltanto un elemento, ma un'intera storia. E dietro alla tavola periodica si nascondono decine di storie e aneddoti affascinanti. Dall'antimonio usato come cosmetico nell'antico Egitto, alla corsa al molibdeno scatenata dai tedeschi nel primo Novecento per il controllo delle miniere del Colorado, fino alla comune origine stellare di tutti gli elementi. Un'introduzione ricca e appassionante alla conoscenza di ciò che costituisce il nostro pianeta e l'intero Universo.

Sam Kean, *Il cucchiaino scomparso*, Adelphi, Milano 2012, € 34,00.

L'ENERGIA DEL FUTURO

Finora ci siamo affidati a fonti energetiche efficienti, ma con un alto costo per l'ambiente. Cambiare rotta, passando alle fonti rinnovabili, è una bella sfida, che richiede l'adozione di nuovi modelli sociali e produttivi. Le strategie vincenti e i casi virtuosi, però, ci sono e mostrano che la strada è davvero percorribile. Giorgio Carlo Schultze, tra i principali promotori dello sviluppo delle rinnovabili in Italia, spiega come.

Giorgio Carlo Schultze, *L'energia del futuro*, Bruno Mondadori, Milano 2013, € 14,00.



QUANDO GLI SCIENZIATI SBAGLIANO

Della scienza si ricordano sempre i successi, ma in realtà il processo scientifico procede in genere per tentativi ed errori. E la storia della scienza è costellata anche di “cantonate” madornali, come quelle commesse da cinque scienziati tra i più celebri: Lord Kelvin, Linus Pauling, Fred Hoyle, Charles Darwin e Albert Einstein. A raccontarle nel suo ultimo libro è l'astrofisico e scrittore Mario Livio, che si avvicina al tema con attenzione e rispetto, perché i contributi alla scienza di questi “magnifici” cinque rimangono comunque immensi.

M. Livio, *Cantonate. Perché la scienza vive di errori*, Rizzoli, Milano 2013, € 18,00.



ONLINE



LA BBC INSEGNA

Dal comportamento animale alle scienze dei materiali, dal Sistema solare ai circuiti elettrici, dalla fotosintesi alla radioattività: sono solo alcuni degli argomenti scientifici proposti nella Learning zone della BBC sotto forma di piccoli video da mostrare in classe. Utili per introdurre o approfondire vari temi in modo più accattivante, permettono anche di fare esercizio con l'inglese.

link.pearson.it/E5F778A5

CALCOLATRICE WEB

Una calcolatrice scientifica a tutti gli effetti, che però si trova online e può essere inserita in qualsiasi pagina web, per esempio in siti scolastici o blog didattici degli insegnanti. In questo modo, gli studenti potranno avere una calcolatrice scientifica sempre a portata di mano con una semplice connessione ad Internet.

<http://web2.0calc.com>

APP

PHYSICALSCI

Utile come un manuale, con in più le simulazioni, le animazioni, le spiegazioni video e i contenuti scientifici multimediali. È *PhysicalSci*, un glossario interattivo per lo studio della fisica, adatto alle scuole secondarie di primo e di secondo grado. L'app è in grado di adattare i suoi contenuti ai diversi metodi di insegnamento e affronta tutti i temi che hanno a che fare con la materia, l'energia e il cambiamento di stato.

PhysicalSci, per iPad.
link.pearson.it/158FEC01



CELLULA IN 3D

Esplorare la cellula in 3D, osservarla da qualunque angolatura, ingrandire ogni struttura e scoprirne la funzione e la relazione che la lega alle altre. Questa app è uno strumento potente pensato per tutti gli appassionati di biologia con spiegazioni multimediali e link di approfondimento sulle caratteristiche di ciascuna struttura.

3D Cell Simulation and Stain Tool, per iOS. link.pearson.it/6288DC47

ATTENTI SCETTICI

Succede dopo ogni perturbazione meteo: uno scettico balza in piedi e sostiene che si tratta della dimostrazione che il riscaldamento globale non esiste. Sapete bene che quella persona ha torto, ma non avete gli argomenti giusti per dimostrarlo. In vostro soccorso arriva *Skeptical Science*, un'app dedicata al riscaldamento globale, che mette a disposizione tutto ciò che la scienza peer reviewed ha da offrire sull'argomento, con dati, grafici e spiegazioni dettagliate.

Per iOS e Android. www.skepticalscience.com



TUTTO SUL CIBO

Cibo e alimentazione sono temi strategici e ora un'app, messa a punto dal SISSA Medialab, aiuta a scoprire tutto quanto c'è da sapere in proposito. Consiste in un quiz interattivo sui moltissimi aspetti legati al cibo: economia e società, biologia e agricoltura, econofisica e neuroscienze. Metti nel carrello i prodotti giusti, ordinali correttamente, calcola il valore esatto e diventa un esperto! E si può giocare anche online.

Foodly, per iOS. link.pearson/FCEC49E4

LAB EVO

Spazio tutto dedicato alla didattica di Pikaia, il portale italiano dell'evoluzione. Lo cura il formatore Marcello Sala, con una serie di proposte periodiche – adatte a varie fasce d'età – che hanno l'obiettivo di "suscitare buone domande" e trovare buone ragioni per studiare e leggere libri, a cominciare da *L'Origine delle specie*. I materiali proposti possono essere utilizzati in vari contesti, dalle scuole ai musei. E in caso di dubbio, si può chiedere una consulenza.

link.pearson.it/7B93ED06

SOLUZIONI VERDI

Parlare di ambiente – dall'inquinamento al clima, dalla conservazione all'educazione – in modo originale, approfondito e mai banale. È quello che fa *Ensia*, magazine online (ma ne esiste anche una versione cartacea) dell'Institute on the Environment dell'Università del Minnesota. Un prodotto dalla grafica accattivante e ricco di contenuti: ci sono approfondimenti, interviste, video, gallerie fotografiche e non mancano le curiosità. Come la composizione del violoncellista Daniel Crawford, che ha messo in musica il cambiamento climatico.

<http://ensia.com>



CIVILIZZATI O BARBARI? LA DIFFICILE CONVIVENZA TRA CULTURE



Nelle nostre società occidentali, ormai multietniche, il confronto tra culture diverse è diventato un compito quotidiano. Il confronto si presenta tuttavia particolarmente difficile quando le culture delle comunità con cui entriamo in contatto contrastano con i diritti individuali riconosciuti dalle nostre costituzioni. Un esempio è costituito dal mancato riconoscimento dell'uguaglianza tra i generi, causa di gravi discriminazioni nei confronti delle donne, che appunto in alcune culture vengono private di libertà fondamentali. Di fronte a tali situazioni la difesa dell'universalità dei diritti umani deve avere il primato sul diritto alla diversità culturale di una comunità oppure no? E ancora, i diritti riconosciuti dalla *Dichiarazione universale dei diritti dell'uomo*, approvata dall'ONU, non sono forse essi stessi solo espressione dell'etnocentrismo occidentale? E infine, sostenere che le società occidentali debbano tollerare al proprio interno pratiche lesive dei diritti umani, per rispettare la diversità di altre culture, non significa ridurre le società occidentali a vittime dell'etnocentrismo altrui?

L'antietnocentrismo

Gli studi antropologici ed etnologici oggi affermano che una delle condizioni per promuovere possibili incontri tra culture è la rinuncia, da parte di ognuna, a una pretesa di superiorità. Sul banco degli imputati c'è il cosiddetto etnocentrismo, che può essere definito come la tendenza a giudicare (e a svalutare) le altre culture proiettando su di esse il nostro modello di sviluppo, progresso, benessere, felicità. Secondo l'antropologo francese Claude Lévi-Strauss, la prospettiva etnocentrica è basata sull'identificazione della propria cultura con il modo di vivere pienamente umano, contrapposto ad altri modi considerati barbari o selvaggi. Questa prospettiva, a suo parere, non è in fondo molto diversa da quella dei presunti barbari e selvaggi, dai quali gli uomini "civilizzati" vogliono distinguersi. All'etnocentrismo la ricerca scientifica oppone una prospettiva "antietnocentrica", secondo la quale sono da rifiutare tutte le classificazioni delle culture che ordinano le società umane secondo un'unica linea evolutiva culminante nella civiltà occidentale.

Il relativismo culturale

Questa prospettiva "antietnocentrica" ha anzitutto un valore pratico: promuove il rispetto tra le culture, in antitesi con l'intolleranza e la sopraffazione di chi predica l'etnocentrismo. Tuttavia, anche l'antietnocentrismo è stato soggetto a critiche, prima fra tutte quella di "relativismo". Per esempio, in nome dell'antietnocentrismo, occorre riconoscere pari dignità a tutte le convinzioni e a tutti i comportamenti, in quanto accettati all'interno di una cultura e quindi validi relativamente a quel contesto? Compresi la tortura, l'infibulazione, magari i sacrifici umani? Le perplessità suscitate da queste rischiose conseguenze hanno portato a mettere in discussione questo atteggiamento.

Un bazaar circondato da club privati?

Una posizione critica è quella sostenuta dal filosofo americano Richard Rorty. A suo parere l'unica cosa che noi occidentali possiamo fare è mettere in evidenza i "vantaggi pratici" offerti dalla nostra cultura. Quest'ultima infatti è l'unica a consentire a individui appartenenti a civiltà diverse di procedere fianco a fianco senza reciproche intrusioni e senza tradire le rispettive concezioni della vita. Non senza sarcasmo, Rorty afferma che proprio nel suo presentarsi aperta e disponibile la civiltà occidentale non fa tuttavia altro che riproporre il suo atteggiamento di superiorità. Il suo modello di convivenza, infatti, è paragonabile a quello di un bazaar circondato da club privati esclusivi. Immaginiamo molte delle persone presenti in un simile bazaar come «pronte a morire» piuttosto che condividere le credenze di coloro con cui stanno contrattando; eppure, nonostante ciò «contrattano in continuazione e in modo proficuo». Un bazaar simile non è, ovviamente, una vera comunità. Tutto ciò che serve al suo interno è la capacità di controllare le proprie azioni di fronte alla diversità delle persone presenti. Realizzato ciò, «fate i migliori affari che potete e, dopo un duro giorno di contrattazioni, ritiratevi nel vostro club. Lì sarete confortati dalla compagnia di chi condivide la vostra morale». ➔



FABIO CIOFFI

è insegnante di filosofia nei licei e lavora come consulente editoriale e come formatore. È autore di numerosi manuali scolastici.

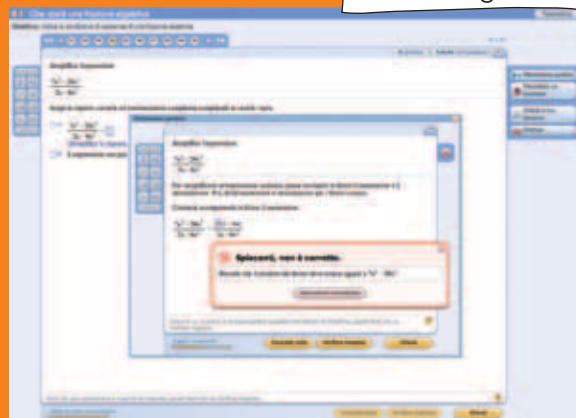
PER APPROFONDIRE

- V. Lanternari, *L'incivilimento dei barbari. Problemi di etnocentrismo e di identità*, Dedalo, Bari 1983.
- C. Lévi-Strauss, *Razza e storia e altri studi di antropologia*, Einaudi, Torino 1994.
- R. Rorty, *Sull'etnocentrismo*, in *Scritti filosofici*, Laterza, Bari 1998.

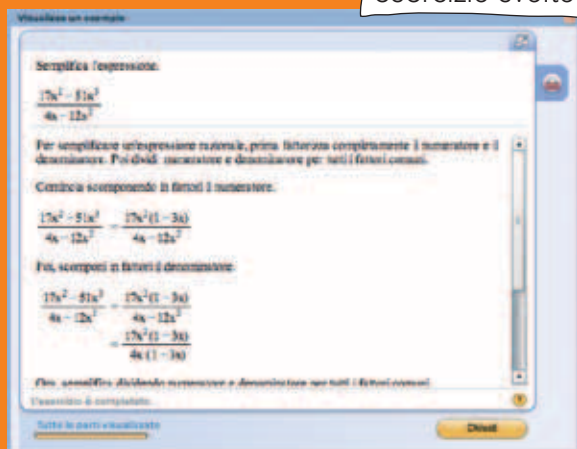
MyMathLab

la nuova piattaforma digitale
per l'insegnamento
e lo studio della matematica

esercizio guidato



esercizio svolto



Insegnare con MyMathLab

- Tutto sotto controllo
- Il vantaggio della personalizzazione per non lasciare indietro nessuno
- L'insegnante verifica e misura quotidianamente l'andamento della classe e del singolo studente

Apprendere con MyMathLab

- Lo studente non è mai solo di fronte alle difficoltà
- Per ogni studente, migliaia di esercizi
- Di fronte al primo ostacolo, c'è l'esercizio guidato
- Se non basta, c'è il tutor che guida alla soluzione dell'esercizio assegnato



Per informazioni vai sul sito
www.mymathlab.it

Per ottenere l'accesso alla piattaforma cerca e
contatta il tuo consulente Pearson:
<http://mmlitaliano.pearsoncmg.com/contatti>

Per chiedere supporto MyMathLab:
<http://mmlitaliano.pearsoncmg.com/supporto>



www.linxedizioni.it

informazioni sul catalogo Linx
tutte le risorse digitali associate ai corsi
materiali extra
rassegna stampa web sul mondo della scienza
news ed eventi
blog d'autore
l'edizione online di Linx Magazine

Inoltre, iscrivendosi al sito potrà ricevere
la nostra **newsletter mensile** che la terrà
aggiornata sulle novità pubblicate sul sito:
spunti per attività didattiche,
segnalazioni di eventi scientifici
e notizie dall'editore.



Desidera ricevere Linx Magazine in **abbonamento gratuito** direttamente a casa?
Può iscriversi sul sito Linx Edizioni o compilare il modulo sottostante e inviarlo al fax indicato.

nome cognome
indirizzo abitazione città provincia cap
e-mail@..... telefono/cellulare
materie di insegnamento
nome della scuola
indirizzo della scuola città provincia cap

Impegno di riservatezza e trattamento dei dati personali

Pearson Italia S.p.A., titolare del trattamento, la informa che i dati da lei forniti ci permetteranno di dare esecuzione alle sue richieste e di farla partecipare alle nostre attività. Con il suo consenso, Pearson potrà tenerla aggiornata periodicamente sulle proprie attività, inviarle saggi gratuiti, newsletter e materiale connesso all'attività didattica. Potrà inoltre invitarla a esprimere le sue valutazioni e opinioni partecipando alle ricerche di mercato realizzate per conto di Pearson. Il conferimento dei dati è facoltativo ma la mancanza delle informazioni potrà impedire l'accesso a tutti i servizi disponibili. I dati saranno trattati, anche con strumenti informatici e automatizzati, da responsabili e incaricati e non saranno comunicati a terzi né diffusi, ma potranno essere messi a disposizione delle altre società appartenenti al Gruppo Pearson per il perseguimento delle medesime finalità. Esercitando i diritti previsti dalla vigente normativa, ogni interessato può chiedere l'accesso ai dati o la loro integrazione, correzione, modifica e può opporsi al loro trattamento o chiederne, nei limiti previsti dalla vigente normativa, la cancellazione nonché prendere visione dell'elenco aggiornato dei responsabili nominati, scrivendo via e-mail a info@pearson.it oppure in forma cartacea a Pearson Italia S.p.A. via Archimede 51 - 20129 Milano tel. 02.74823.1 fax 02.74823.278 all'attenzione del responsabile del trattamento dati.

Presa visione dell'informativa, dichiarando di essere maggiorenne, consento al trattamento dei miei dati per le finalità descritte nell'informativa.

Sì No

N.B. Se non barra la casella Sì perde l'opportunità di partecipare alle nostre iniziative e ricevere il nostro materiale informativo.

firma data

Inviare via fax al numero 011 75021510 o via posta a Linx – Pearson Italia S.p.A – Corso Trapani 16 – 10139 Torino

Per qualsiasi informazione sulla Newsletter o sul Magazine può scriverci a info.newsletterscuola@pearson.it