



linux
MAGAZINE

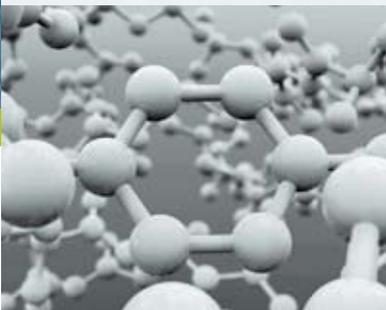
ENTROPIA

QUANDO LA FISICA
INCONTRA IL TEMPO

PROGETTI

Farmaci al computer

L'aiuto dell'informatica per progettare e sviluppare nuove sostanze terapeutiche

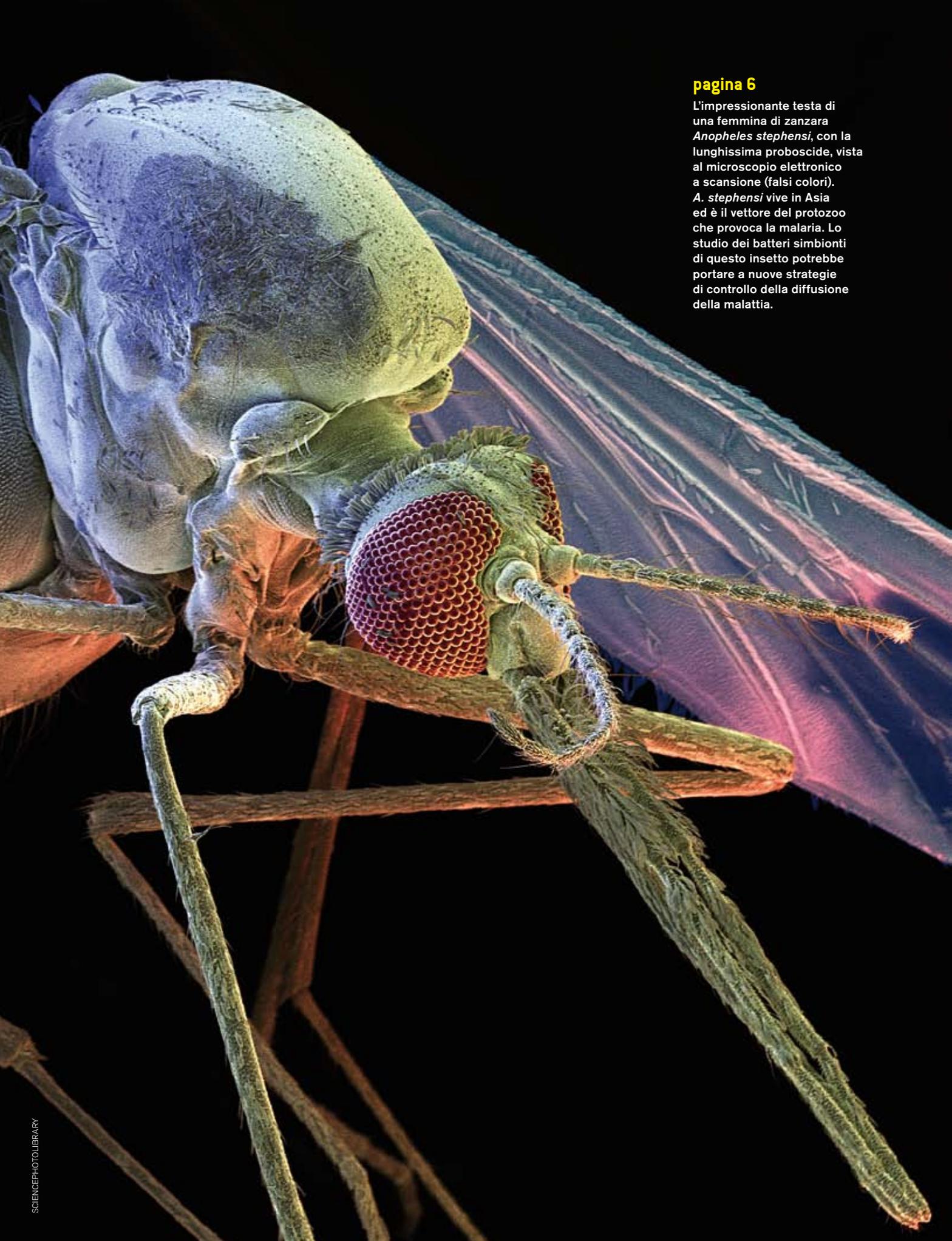


PROGETTI
BUON VIAGGIO
MR DARWIN

ESPERIENZE
STUDIARE LA LUCE
QUANDO È FERMA

RIFLESSIONI
LA MARCIA
DEL PROGRESSO

INTERNET POINT
SEMPRE PIÙ
eBOOK



pagina 6

L'impressionante testa di una femmina di zanzara *Anopheles stephensi*, con la lunghissima proboscide, vista al microscopio elettronico a scansione (falsi colori). *A. stephensi* vive in Asia ed è il vettore del protozoo che provoca la malaria. Lo studio dei batteri simbiotici di questo insetto potrebbe portare a nuove strategie di controllo della diffusione della malattia.



Di nuovo con voi

Nei primi tre numeri di "Linx Magazine" abbiamo intervistato scienziati italiani che hanno svolto o svolgono con successo attività di ricerca all'estero. L'intento, non troppo velato, era sottolineare quanto poco si è fatto e si fa per trattenere in Italia le nostre migliori menti scientifiche. Questa volta, però, diamo voce a scienziati altrettanto bravi che operano nel nostro paese e che collaborano quotidianamente con colleghi di ogni parte del pianeta.

È questo il caso di Daniele Daffonchio, professore di microbiologia all'Università di Milano che, partendo da un articolo pubblicato su "Nature", racconta in un'intervista i recenti sviluppi della microbiologia ambientale.

Giulio Rastelli, professore all'Università di Modena e Reggio Emilia, illustra come opera un progettista molecolare e come la contaminazione tra biologia, chimica e tecnologie informatiche ha aperto la strada alla progettazione e allo sviluppo di nuovi farmaci. Enzo Tiezzi, professore di chimica fisica all'Università di Siena, vincitore nel 2004 della medaglia d'oro Blaise Pascal dell'European Academy of Science for Physics and Chemistry, ci introduce all'ecodinamica, una nuova disciplina frutto delle sue lunghe frequentazioni con il premio Nobel Ilya Prigogine.

L'obiettivo della nostra rivista – mettersi al servizio della didattica delle scienze – crediamo che sia ben espresso dall'articolo di Enrico Perghem, che ripercorre l'esperimento di Otto Wiener per provare la natura elettromagnetica della luce, così come dall'inchiesta di Valentina Murelli sul Progetto lauree scientifiche, in particolare sul corso di scienza dei materiali. A Fabio Cioffi, con la nuova rubrica *Prendiamola con filosofia*, il compito di districarsi tra verità e utilità delle teorie scientifiche.

Nell'anno degli anniversari darwiniani è stata forte la tentazione di dedicare un intero numero alla teoria dell'evoluzione.

In questi mesi si sono però avvicendati in Italia, com'era prevedibile e giusto, così numerosi e rilevanti interventi – mostre, dibattiti, articoli su quotidiani e riviste – che sarebbe stato difficile portare un contributo significativo evitando i problemi di ridondanza tanto comuni ai media, tradizionali e non.

Abbiamo comunque "giocato" con il tema dell'evoluzionismo, pubblicando alcuni articoli che in qualche modo lo attraversano. Francesca E. Magni parte dai concetti di tempo, entropia, complessità per introdurre l'intervista a Enzo Tiezzi sull'ecodinamica, una disciplina che fonde ecologia e termodinamica a favore di un approccio evolutivo alla fisica. In un articolo a più mani, alcuni docenti universitari e liceali che operano presso il Cus-Mi-Bio di Milano raccontano un progetto che ha portato alcune scuole lombarde a realizzare una sorta di viaggio virtuale – complici Google Earth e altri strumenti del Web – nei luoghi che Darwin ha visitato nei cinque anni di navigazione con il brigantino *Beagle*. Infine Maurizio Casiraghi, con ironia e rigore, ripercorre l'iconografia legata allo sviluppo evolutivo umano mettendone in luce i limiti e le ambiguità interpretative.

Di biologia Linx si sta comunque occupando a tempo pieno. Stiamo lavorando alla nuova edizione di due importanti manuali, entrambi pubblicati da Pearson e che presenteremo presto ai docenti per le adozioni del prossimo anno scolastico 2010: il fondamentale testo di Campbell, Reece *Biology: Concepts and Connections*, già noto in Italia nell'edizione precedente con il titolo *Immagini della biologia*, e il bellissimo libro di Miller, Levine *Biology*, che negli Stati Uniti è, insieme al Campbell, manuale di riferimento per l'insegnamento della disciplina.

MASSIMO ESPOSTI

Direttore editoriale di Linx



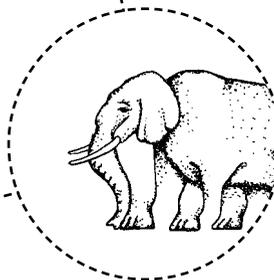
SOMMARIO N.04–OTTOBRE 2009

4
DA NON PERDERE



6
INTERVISTA
DANIELE DAFFONCHIO
RACCONTA
Al lavoro con batteri, laghi
sottomarini e zanzare
di Valentina Murelli

14
FRONTIERE
DISEGNARE I FARMACI
AL COMPUTER
di Giulio Rastelli



22
FRONTIERE
LA FISICA
E L'EVOLUZIONE
di Francesca E. Magni

30
INTERNET POINT
SEMPRE PIÙ eBook
di Tiziana Moriconi

34
ESPERIENZE
STUDIARE LA LUCE
QUANDO È FERMA
di Enrico Perghem



38
PROGETTI
BUON VIAGGIO
MR DARWIN!

di Cinzia Grazioli, Cristina Gritti,
Paolo Plevani, Giovanna Viale

42
PROGETTI
FISICA, CHIMICA
O ENTRAMBE?
di Valentina Murelli



direzione
Massimo Esposti

redazione
Valentina Murelli, Barbara Rosenthal
redazione@linxmagazine.it
www.linxedizioni.it

hanno collaborato a questo numero
Mario Benenti, Andrea Bonarini, Maurizio Casiraghi, Maria Luisa Castoldi, Loredana Cerbara, Teresa Celestino, Fabio Cioffi, Annunziata Cozzolino, Cinzia Grazioli, Cristina Gritti, Alba L'Astorina, Luciana Libutti, Francesca E. Magni, Tiziana Moriconi, Valentina Murelli, Giorgio Narducci, Enrico Perghem, Paolo Plevani, Giulio Rastelli, Adriana Valente, Giovanna Viale

progetto grafico
Paola Lenarduzzi, studiopaola
impaginazione, disegni
studiopaola, Vito Roma

progetto grafico di copertina
Italik, Milano

immagine di copertina
Tomaso Boscarol

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 Paravia Bruno Mondadori 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 Paravia Bruno Mondadori S.p.A.

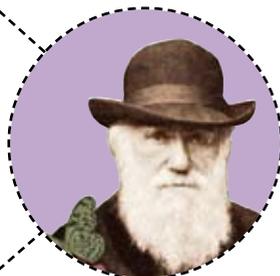
Corso Trapani 16
10139 Torino

RI636400042W
Stampato per conto della Casa Editrice presso Arti Grafiche DIAL, Mondovì (Cn), Italia

Tutti i diritti riservati
© 2009 Pearson Paravia Bruno Mondadori S.p.A.
www.ppbm.it

**45
PROGETTI
ESPERTI E STUDENTI
A CONFRONTO**

di Alba L'Astorina, Loredana Cerbara,
Luciana Libutti, Adriana Valente



**50
RIFLESSIONI
IMPARARE
DALLE MOSTRE**

di Giorgio Narducci



**53
RIFLESSIONI
LA MARCIA
DEL PROGRESSO**

di Maurizio Casiraghi



**58
UNO SCIENZATO
AL CINEMA
A.I.
INTELLIGENZA
ARTIFICIALE**

di Andrea Bonarini

**56
INTERVISTA DOPPIA
RICERCA E NON SOLO**

**60
SCIENZA
AL CENTRO**

**64
PRENDIAMOLA
CON FILOSOFIA
VERITÀ E UTILITÀ
DELLE TEORIE
SCIENTIFICHE**

di Fabio Cioffi



DA NON PERDERE

- per i ragazzi / per la classe
- per tutti
- per i docenti

FESTIVAL E MANIFESTAZIONI

Donne e tecnologia

Milano, Museo nazionale della scienza e della tecnologia

9 novembre 2009

Educazione e orientamento all'educazione continua: sono queste le parole chiave attorno alle quali ruoterà l'edizione 2009 della conferenza internazionale *Women&Technologies*, il cui obiettivo generale rimane quello di promuovere soluzioni innovative ai problemi delle nostre società e del pianeta, proposte da donne con il contributo di strumenti tecnologici. Secondo gli organizzatori, tuttavia, una riflessione sulla questione educativa si è resa necessaria, dato il ruolo ancora inadeguato che le donne rivestono nel mondo tecnoscientifico. Se è vero, infatti, che bambini e bambine sono oggi nativi digitali, è anche vero che queste capacità non bastano a costruire una professionalità se non sono accompagnate da metodo e da un'educazione continua. Nel corso della conferenza saranno anche premiate le Tecnovisionarie 2009: donne capaci di generare innovazione e di "inventare il futuro" creando tecnologie.

www.womentech.eu

Futuro remoto

Napoli, Città della scienza

19 novembre-8 dicembre 2009

Utili, affascinanti, talvolta inquietanti: sono i robot, protagonisti assoluti di questo nuovo appuntamento napoletano con la scienza e la tecnologia. Incontri, conferenze, laboratori didattici e creativi, mostre e giochi, permetteranno di compiere un viaggio nel passato mitologico dei robot, nel loro presente – basti pensare alle applicazioni in campo industriale (i bracci meccanici delle catene di montaggio), medico, ambientale (i robot esploratori di ambienti inospitali), bellico – e nel loro futuro. A

questo proposito, vista la creazione di macchine sempre più "intelligenti", sempre più in grado di agire in situazioni mutevoli, imparando dall'esperienza e trasmettendo le proprie conoscenze, sarà inevitabile confrontarsi anche su alcuni aspetti etici legati alle prospettive della robotica.

www.cittadellascienza.it

081 2420024

CONCORSI

Explora!

Scadenza iscrizioni: 30 novembre 2009

Interesse per la scienza e per la ricerca, capacità di osservazione e di analisi, creatività e impegno: sono i requisiti principali per partecipare al concorso *Explora!*, organizzato dalle regioni poste al confine tra Austria, Svizzera e Italia con l'obiettivo di promuovere la passione per la ricerca scientifica nei giovani abitanti di queste aree transfrontaliere, da sempre crocevia di culture differenti. La competizione è aperta a tutti gli studenti di età compresa tra i 16 e i 20 anni, residenti (anche solo per motivi di studio) in Alto Adige, Trentino, Tirolo o Grigioni. Per partecipare (sia singolarmente sia in piccoli gruppi) occorre presentare un lavoro scientifico originale in uno tra differenti settori disciplinari, come arte, biologia, chimica, fisica, geografia, geologia, ecologia, matematica, storia, filosofia, scienze sociali, economia, turismo. Le relazioni descrittive del progetto (in italiano, tedesco o inglese, ma sempre con un breve abstract in inglese) dovranno pervenire agli organizzatori entro il 29 gennaio 2010; la presentazione dei progetti finalisti e la premiazione (con premi in denaro compresi tra 1500 e 4000 euro) avverranno in aprile a Samedan, in Svizzera.

www.explora-science.net



Attrazione Terra

Trento, Museo tridentino di scienze naturali

Fino al 10 gennaio 2010

Un viaggio che ha inizio con la scoperta dei segreti del campo magnetico terrestre per arrivare a indagare l'origine dei terremoti e delle eruzioni vulcaniche: è quello proposto dalla mostra *Attrazione Terra. Terremoti e magnetismo terrestre*, organizzata dall'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (Ingv) in collaborazione con il Museo tridentino di scienze naturali di Trento. Diverse le modalità illustrative: installazioni, exhibits, pannelli, poster, filmati, animazioni e anche esperimenti introduttivi sui meccanismi alla base dei fenomeni geofisici. La prima parte del percorso è dedicata al campo magnetico terrestre e si conclude con un approfondimento sul nucleo della Terra; la seconda tratta invece di terremoti, vulcani e dinamica della Terra a partire da un'accurata descrizione della tettonica a placche. Una sezione speciale è dedicata alle aurore e non mancano approfondimenti storici e tecnologici. La mostra si conclude con la riproduzione della sala di monitoraggio sismico dell'Ingv, dove 24 ore su 24 vengono analizzati i dati sismici provenienti da centinaia di stazioni presenti in tutta Italia.

www.mtsn.tn.it/attrazione_terra

Concorso Edoardo Amaldi

Scadenza consegna elaborati:

30 giugno 2010

La fisica europea del Novecento, con particolare riferimento all'opera di Edoardo Amaldi: ecco il tema della seconda edizione del concorso dedicato ad Amaldi dall'Associazione per l'insegnamento della fisica (AIF), in collaborazione con il Dipartimento di fisica dell'Università di Roma La Sapienza e con la Fondazione

Edoardo Amaldi, per onorare la figura di questo protagonista della ricostruzione della fisica in Italia nel secondo dopoguerra e della politica della ricerca in Europa. Possono partecipare giovani ricercatori e/o giovani insegnanti laureatisi in fisica a partire dal 1990 oppure studenti (singoli o in gruppo) o classi di scuola superiore. Si concorre con una produzione cartacea (saggio, libro, articolo) o con un prodotto audiovisivo (filmato, spettacolo, fumetto, documentario, mostra). I



🌱🌱🌱 Scienzartambiente

Pordenone, 16 ottobre-1 novembre 2009

È giunto alla XIII edizione il festival *Scienzartambiente* – per un mondo di pace di Pordenone, dedicato quest'anno a *Storie di futuro*: storie di scienza e di tecnologia, ma anche di scienza e musica o di scienza e società, storie di vita di scienziati di oggi (e di ieri), storie per i grandi e per i più piccoli. Vastissima l'offerta: dialoghi tra ricercatori e pubblico sui temi dell'impresa culturale scientifica, della ricerca sui farmaci antivirali e dell'evoluzione microtech; riflessioni e racconti su pandemie e contagi sociali e informatici, diritti nella rete, open-source e copyright; gare di matematica, workshop dedicati al futurismo, all'evoluzione, alla tecnologia, alla meteorologia, all'armonia matematica e ad altro ancora; laboratori per le scuole e per i cittadini. Tra le novità, la collaborazione con lo science centre Immaginario scientifico di Trieste, che presenta la multivisione *Sotto lo stesso cielo*, e un'originale esperienza di divulgazione scientifica in discoteca, con una giovane ricercatrice di Telethon.

<http://scienzartambiente.ning.com>

www.comune.pordenone.it/scienzartambiente

premi per le varie sezioni, in denaro, saranno assegnati a ottobre 2010.

www.ifns.it/STORIA/amaldi/amaldi.php

🌱 ilnostropaesaggio.it

Scadenza segnalazione blog: 21 marzo 2010

Individuare un angolo di paesaggio su cui si ritiene necessario intervenire, progettare e realizzare (almeno in parte) interventi migliorativi e/o di valorizzazione,

dar conto di tutto il lavoro svolto su un blog dedicato e progettare e realizzare strumenti di comunicazione per la promozione del blog stesso. Ecco quanto richiesto alle classi, a singoli studenti o a piccoli gruppi per partecipare al concorso *ilnostropaesaggio.it*, organizzato dal FAI, in collaborazione con la Libera università di lingue e comunicazione IULM di Milano. Scopo del concorso è stimolare nei ragazzi la capacità

di osservazione, progettazione, cura e comunicazione di aspetti legati al paesaggio, sensibilizzandoli alla tutela delle bellezze artistiche e naturali del proprio territorio. Tra le attività che dovrebbero essere svolte dagli studenti, gli organizzatori richiedono in particolare il coinvolgimento delle istituzioni e la sensibilizzazione di eventuali associazioni locali e di cittadini. I vincitori riceveranno in premio materiali tecnologici per il lavoro a scuola e a casa.

www.faiscuola.it

CORSI E APPROFONDIMENTI

🌱 Comunicare la scienza

Torino, Museo regionale

di scienze naturali

Febbraio-aprile 2010

Si terrà ogni lunedì pomeriggio a partire da febbraio e per tre mesi il corso sulla comunicazione della scienza organizzato dalla sezione didattica del Museo regionale di scienze naturali di Torino in collaborazione con ANISN Piemonte. In tutto 25 ore di aggiornamento e formazione, articolate in lezioni teoriche, applicazioni pratiche e costruzione di percorsi didattici, per far conoscere le dinamiche alla base della divulgazione scientifica. Tra i temi affrontati: il rapporto scienza-società, gli attori della comunicazione della scienza, gli strumenti multimediali, la radio e la TV come strumenti didattici. Le lezioni teoriche saranno accompagnate da lezioni dimostrative (lettura critica di articoli giornalistici, elaborazione di immagini per documentari) e da esercitazioni pratiche sull'utilizzo dei principali strumenti di comunicazione. È inoltre previsto un piccolo laboratorio di fotografia, con un'uscita in un parco piemontese per applicare la tecnica appresa.

www.regione.piemonte.it/museoscienzeaturali

011 4326325

🌱 L'eredità di Galileo: 1609-2009

Mantova, Centro congressi MaMu 21-24 ottobre 2009

Rappresenta un'ottima occasione per un bilancio sull'eredità di Galileo Galilei in ambito scientifico e sullo stato della didattica scientifica in Italia il nuovo congresso nazionale dell'Associazione per l'insegnamento della fisica (AIF), in programma a Mantova. Nei quattro giorni del congresso sono previste, come sempre: le comunicazioni dei soci, che porteranno l'esperienza del lavoro quotidiano nella scuola; le relazioni su invito, per discutere dello sviluppo della ricerca scientifica e didattica in Italia; l'esposizione di poster; i seminari (dedicati in particolare alla didattica dell'astronomia e alla figura di Galileo). Tra gli ospiti: l'astronoma Margherita Hack, i fisici Ledo Stefanini ed Elio Fabri, l'astrofisico Pietro Galeotti, che terrà una relazione dal titolo *I grandi enigmi dell'astronomia, 400 anni dopo Galileo*.

www.aif.it

MOSTRE E SPETTACOLI

🌱 Muoversi con leggerezza

Torino, Museo A come Ambiente Dal 22 ottobre 2009

Quando scienza e società si incontrano: di questo si occupa la nuova mostra interattiva e multimediale sulla mobilità in programma a Torino. Un'occasione per capire come sono cambiati nel tempo i motori delle auto, il nostro principale mezzo di trasporto, e quali saranno i carburanti del futuro. Ma anche per interrogarsi sull'impatto che il trasporto ha sull'ambiente e sulla struttura delle città e per mettere a confronto mezzi pubblici e privati. Senza dimenticare un elogio dei mezzi più sostenibili che ci siano: la bicicletta e... i propri piedi.

www.museoambiente.org



Al lavoro con batteri, laghi sottomarini e zanzare

DANIELE DAFFONCHIO RACCONTA

Uno dei primi microbiologi ambientali a descrivere una legge generale sulle interazioni nelle comunità batteriche ci spiega l'importanza della vita sociale dei microrganismi per la loro ecologia, per gli ecosistemi nel complesso e anche per noi esseri umani.

Batteri democratici: con questo titolo a effetto è stato raccontato dalla stampa italiana uno degli ultimi studi a cui, nell'ambito di una collaborazione internazionale, ha preso parte il gruppo di ricerca del microbiologo ambientale Daniele Daffonchio, professore associato di microbiologia al Dipartimento di scienze e tecnologie alimentari e microbiologiche dell'Università di Milano. In breve, lo studio – pubblicato lo scorso aprile sulla rivista "Nature" – mostra che quanto più è uniforme la distribuzione numerica delle varie specie di una comunità batterica, tanto più è probabile che la comunità stessa sia resistente agli stress. Un risultato importante, perché mette in evidenza una sorta di "legge generale" che sembra regolare le interazioni tra microrganismi che vivono insieme in uno stesso ambiente.

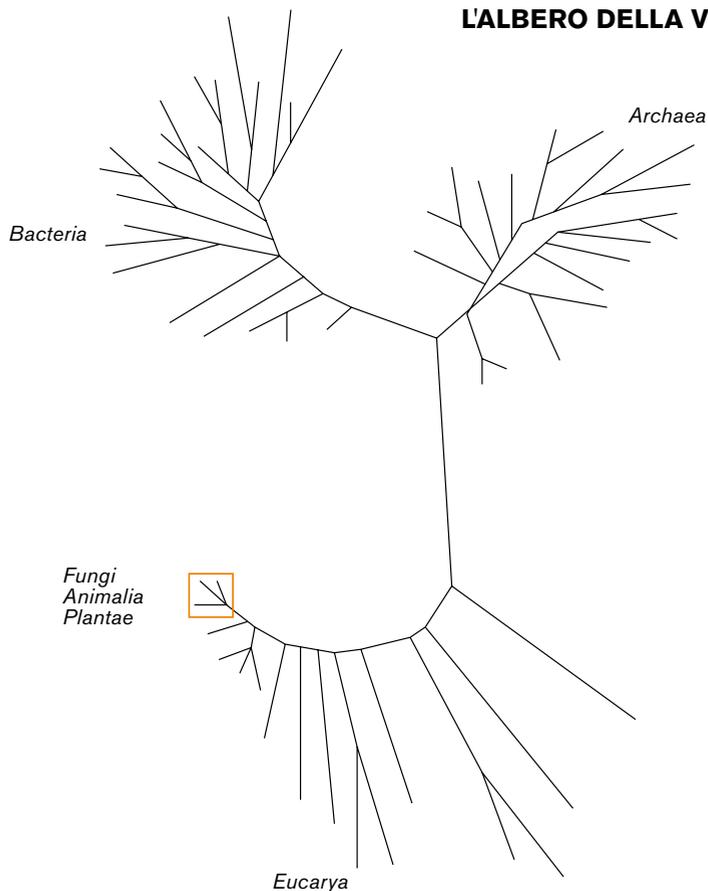


VALENTINA MURELLI



📍 Biofilm batterico su rocce del fondo marino, fotografato nel 2004 durante una missione del sottomarino americano *Ring of fire* nella zona della catena vulcanica sottomarina Mariana Arc.

L'ALBERO DELLA VITA



raappresentato dal grosso scoglio della coltivazione. Tradizionalmente, la microbiologia si è sempre basata sulla coltivazione in laboratorio, su appositi terreni colturali, di microrganismi estratti da campioni (acqua, suolo, sangue, ecc.). Per una varietà di ragioni, però, la grande maggioranza delle specie microbiche non può essere coltivata così e, di conseguenza, molte specie non possono essere riconosciute e studiate. Solo negli ultimi anni abbiamo avuto a disposizione gli strumenti adatti per studiare le comunità nel loro insieme: ci sono voluti i metodi della biologia molecolare per individuare la straordinaria complessità del mondo microbico. Grazie a questi metodi, oggi sappiamo che un solo grammo di suolo ospita più di 10 000 specie batteriche. La velocità con cui scopriamo nuove specie è molto superiore a quella con cui impariamo a coltivarle.

📍 **Albero della vita ottenuto sulla base di informazioni di tipo molecolare. È evidente come la maggior parte della biodiversità sul nostro pianeta si trovi tra i microrganismi (*Bacteria*, *Archaea* e la porzione di *Eucarya* che non comprende piante, animali e funghi).** Fonte: N.R. Pace, *A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere*, in "Science", 1997, 276, pp. 734-740.

In effetti, benché si sappia ormai da molto tempo che i batteri non sono organismi isolati e che, al contrario, "amano" vivere in gruppo, sono ancora decisamente poco conosciuti i meccanismi che ne modulano e ne influenzano le relazioni. E proprio di questo si occupa Daffonchio, studiando praticamente qualunque comunità batterica gli capiti a tiro: da quelle presenti nel suolo dei giardini pubblici a quelle che vivono in ambienti estremi (per esempio l'Artico o i bacini ipersalini sul fondo del mare) o in ambienti artificiali costruiti dall'uomo, come gli impianti di depurazione delle acque.

Professor Daffonchio, perché si sa ancora così poco dei processi che regolano le interazioni all'interno delle comunità batteriche?

Anzitutto, va detto che c'è un limite tecnico,

Veniamo al lavoro pubblicato su "Nature" e al concetto di "democrazia batterica". Che cosa significa?

Ovviamente, è un'esagerazione giornalistica (e ben venga, se aiuta a portare l'interesse su questi temi). Lo studio appartiene al filone di indagini che si occupano del rapporto tra biodiversità e funzionamento degli ecosistemi. In genere, si intende per biodiversità solo la varietà di specie



Ci sono voluti i metodi della biologia molecolare per individuare la straordinaria complessità del mondo microbico

📍 Daniele Daffonchio.

che si trovano in un certo ambiente, ma anche il numero di individui presenti per ciascuna specie ne costituisce un aspetto, ed è proprio su questo aspetto che ci siamo concentrati, scoprendo che è molto importante.

Quali sono stati i passaggi dell'esperimento?

Siamo partiti da comunità microbiche semplificate costruite in laboratorio, contenenti ciascuna 18 specie batteriche diverse, più o meno "ricche" di individui. A un certo punto, abbiamo introdotto uno stress – rappresentato da un aumento della concentrazione di sale nel mezzo di coltura – e abbiamo osservato come le varie comunità reagivano in funzione della diversa "ricchezza" numerica delle singole specie. Abbiamo scoperto che in caso di disuguaglianza in questa ricchezza, la comunità tende a risentire molto dello stress, soprattutto se la specie più ricca è particolarmente sensibile alla variazione di salinità. Al contrario, se le diverse specie sono uniformi per quanto riguarda il numero di individui che le compongono, la comunità intera ha maggiori probabilità di funzionare bene anche in caso di stress.

Nessun batterio è un'isola, verrebbe da dire parafrasando un celebre verso...

Esatto. Il concetto, del resto, è implicito nel termine *comunità*. Sappiamo che le comunità umane si basano sulla cooperazione e sullo scambio di mutui servizi. Lo stesso accade con quelle batteriche: il batterio che fissa l'azoto lo fa anche per quelli che

gli stanno intorno e quello che produce un enzima in grado di degradare un antibiotico protegge sé stesso, ma anche i vicini. Questa cooperazione è particolarmente evidente negli ambienti estremi, che sono anche i più delicati.

Può fare un esempio?

Uno degli ambienti estremi che abbiamo studiato di recente è il lago sottomarino Urania, una specie di "bolla d'acqua" super salata localizzata a 3500 metri di profondità nel Mediterraneo, a Sud-ovest di Creta. È un ambiente ipersalino, privo di luce e di ossigeno e caratterizzato da elevate concentrazioni di metano e di idrogeno solforato. Sembra impossibile che possa ospitare organismi, e invece ci vivono batteri organizzati in una comunità articolata ed efficiente, concentrata soprattutto nel sottile strato di acqua che separa le zone ipersaline da quelle a normale concentrazione di sale: uno strato di soli due metri rispetto a una colonna d'acqua di 3500 m. Qui si generano particolari condizioni geochimiche che permettono ad alcuni batteri di sostenere specifiche attività metaboliche le quali, a loro volta, consentono la sopravvivenza di altri microrganismi. I batteri solfatoriduttori, per esempio, vivono a stretto contatto con batteri che ossidano i solfuri, rilasciando solfato che costituisce la fonte di nutrimento per i solfatoriduttori stessi. In casi come questo si parla di *sintrofia*: una speciale forma di simbiosi in cui un organismo si nutre con sostanze prodotte da un altro.



VITA IN SUPERFICIE

Sono passati circa 30 anni da quando il microbiologo canadese William Costerton fece una scoperta destinata a rivoluzionare il mondo della microbiologia. Durante una spedizione di campionamento, Costerton si accorse che nell'acqua di alcuni ruscelli di montagna c'erano pochissimi batteri: solo otto o nove per ml. In compenso, la superficie delle rocce sul fondo del ruscello era completamente rivestita da una scivolosa pellicola di batteri, organizzati in una comunità che il biologo definì *biofilm*. Una comunità dall'architettura complessa e con un certo grado di specializzazione cellulare. I biofilm a pelo d'acqua, per esempio, formano strutture a forma di fungo con proiezioni esposte all'aria per raggiungere più facilmente l'ossigeno. Quando un gruppo di batteri incontra le condizioni adatte per formare un biofilm, le singole cellule vanno incontro a grandi cambiamenti, come perdere i flagelli e secernere sostanze che formano una "matrice" che tiene unite le cellule stesse e costituisce una barriera protettiva. Oggi sappiamo che la maggior parte delle specie batteriche può costituire un biofilm. In genere, bastano una superficie umida e una minima disponibilità di sostanze nutritive – come si possono trovare sui nostri denti, all'interno di reti idriche, perfino sui pacemaker – per "convincere" i microrganismi a passare da una forma di vita libera a una comunitaria. Ma come fanno i batteri a sapere quando è il momento di organizzarsi in biofilm? Uno dei meccanismi coinvolti è il cosiddetto *quorum sensing*, un sistema di conteggio veloce dei membri di una popolazione. In pratica, misurando la concentrazione di particolari sostanze chimiche rilasciate nell'ambiente da altri microrganismi, ciascun batterio riesce a "farsi un'idea" delle dimensioni della popolazione batterica circostante. Quando si raggiunge una certa soglia, alcuni programmi di sviluppo, come la formazione di biofilm, ma anche la sporulazione o la produzione di sostanze fluorescenti, vengono attivati in modo sincrono in tutta la popolazione. Questo, almeno, è quanto succede in comunità costituite da una sola specie batterica, come quelle studiate in laboratorio. In natura, però, i biofilm comprendono in genere più specie: capire come queste comunicano e interagiscono è proprio una delle sfide principali della microbiologia di oggi.

Quando sapremo meglio che cosa regola la convivenza tra batteri in una comunità, sapremo anche come manipolarla a nostro favore

Sempre a proposito di ambienti estremi: di recente lei si è occupato anche di Artico...

Sì: abbiamo scoperto una collaborazione tra batteri che svolgono due diversi processi autotrofici (fotosintesi e chemiosintesi): collaborazione che sembra "attenuare" le estreme condizioni dell'Artico, in particolare per quanto riguarda la siccità, favorendo l'insediamento di organismi. Gli attori principali sono due: un batterio chemiolitoautotrofo, che ossida il minerale pirite producendo acido solforico e ossidi di ferro, e un batterio fotosintetico. L'acidificazione dell'ambiente indotta dall'ossidazione della pirite favorisce la formazione di sostanze minerali (colloidi) che ritengono meglio la poca acqua liquida presente a quelle latitudini, mentre la fotosintesi porta alla produzione di una minima quantità di sostanza organica che può essere sfruttata da altri organismi. È un esempio molto bello del fatto che le simbiosi sono spesso essenziali non solo per coppie isolate di organismi, ma anche per interi ecosistemi.

Lo studio delle comunità batteriche può anche avere ricadute applicative?

In futuro immagino di sì. Quando sapremo meglio che cosa regola la convivenza tra batteri in una comunità, sapremo anche come manipolarla a nostro favore. In moltissimi campi: dalla medicina all'agricoltura, dall'arte (non dimentichiamo che le opere d'arte sono spesso colonizzate da floride comunità microbiche) alle tecniche di miglioramento ambientale.



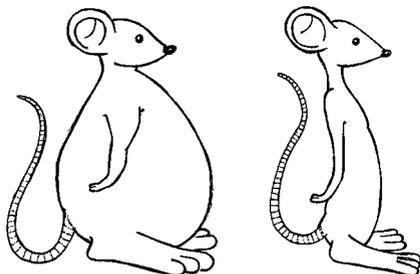
CORTESIA CNR

Per alcune ricerche, il team di Daffonchio si è avvalso dei campionamenti effettuati dalla nave oceanografica *Urania* del Cnr. Nell'immagine due tecnici della nave calano un contenitore per la raccolta di acqua e microrganismi.



TUTTI I NOSTRI BATTERI

Siamo uomini oppure una grande comunità batterica? La domanda sorge spontanea, se si considera che, nel nostro organismo, il rapporto tra cellule umane e cellule batteriche è di uno a dieci e quello tra geni umani e geni microbici addirittura di uno a cento. Da qualche anno, i microbi del corpo umano sono oggetto di studio del Progetto microbioma umano, un ampio progetto di ricerca coordinato dal National Human Genome Research Institute di Bethesda, negli Stati Uniti. L'ultimo risultato ottenuto riguarda la varietà e la distribuzione delle comunità microbiche della pelle: si è scoperto che il nostro tessuto di rivestimento esterno ospita circa 1000 specie differenti di batteri e che ciascun individuo possiede la propria "combinazione" microbica. Conclusioni analoghe si erano ottenute qualche anno fa con lo studio del microbioma intestinale: anche in quel caso si erano trovate circa 1000 specie (per un totale di 100 000 miliardi di organismi), con una combinazione e una distribuzione parzialmente differenti da individuo a individuo. Nel complesso, il nostro microbioma è decisamente benefico, perché ci conferisce capacità che altrimenti non avremmo, come quella di digerire certe molecole. In alcuni casi, però, la differente



modulazione delle comunità batteriche sembra associata ad alcune patologie. Prendiamo per esempio l'obesità: un paio di anni fa, il gruppo di ricerca di Jeffrey Gordon, della Washington University School of Medicine, ha scoperto che nell'intestino delle persone obese ci sono meno batteri del genere *Bacteroidetes* e più batteri del genere *Firmicutes* rispetto a quanto accade nell'intestino delle persone magre. Se però chi è in sovrappeso dimagrisce, la composizione della flora batterica cambia: i *Bacteroidetes* aumentano e i *Firmicutes* diminuiscono. In uno studio condotto sui topi, inoltre, i ricercatori hanno scoperto che il microbioma di animali obesi ha una maggior capacità di quello di animali magri di digerire zuccheri complessi e, quindi, di ricavare energia dal cibo.

📌 **Colonia mutante di *Pseudomonas aeruginosa*.** Questo batterio sopravvive a basse concentrazioni di ossigeno grazie a sostanze colorate chiamate fenazine. I mutanti nella foto sono privi di fenazine: per questo, danno vita a una colonia dall'architettura molto particolare, che consente anche ai batteri localizzati più in profondità di avere accesso al poco ossigeno disponibile.



LARS DIETRICH / NEWMAN LAB



IN RETE!

Tutto sui biofilm

Sito della Montana State University tutto dedicato ai biofilm: approfondimenti, news, curiosità, esercizi e altro ancora.

www.biofilmsonline.com

Museo virtuale

Raccolta ragionata di link a siti dedicati a differenti aspetti della microbiologia (evoluzione dei batteri, microrganismi estremofili, sicurezza alimentare ecc.).

www.bacteriamuseum.org Un'altra interessante raccolta di link si trova all'indirizzo www.microbes.info

Ambienti e metodi

Sito educational dedicato all'ecologia, alla diversità e all'evoluzione dei microrganismi, con un'attenzione particolare per le metodologie di ricerca. <http://serc.carleton.edu/microbelife>

Tra le tante linee di ricerca del suo laboratorio ce n'è anche una sulla simbiosi tra il batterio *Asaia* e la zanzara *Anopheles stephensi*, uno dei vettori della malaria. Ci può raccontare qualcosa?

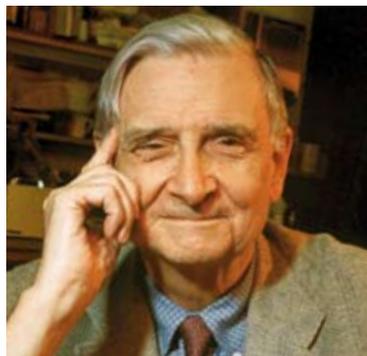
Come gli esseri umani, anche gli insetti ospitano ricche comunità di batteri, che spesso svolgono funzioni importanti per la loro sopravvivenza. Alcuni afidi, per esempio, ospitano batteri che li rendono più resistenti all'attacco di funghi patogeni oppure microrganismi che forniscono loro aminoacidi essenziali. Quindi è abbastanza normale trovare batteri simbiotici all'interno di insetti. Un paio di anni fa abbiamo scoperto un batterio – *Asaia*, appunto – stabilmente associato con *Anopheles stephensi*. Abbiamo anche scoperto che questo batterio si trasmette di generazione in generazione secondo una particolare modalità: i maschi lo passano alle femmine, le quali a loro volta lo trasmettono alla progenie. Questa scoperta potrebbe aprire la strada allo sviluppo di nuove strategie per il controllo della malaria.

In che modo?

Anzitutto, si può verificare se, in natura, esistano ceppi di *Asaia* capaci di interferire con l'insediamento e la proliferazione nell'insetto del plasmodio, il protozoo responsabile della malaria. Se esistono, si possono selezionare maschi di *A. stephensi* "naturalmente" ricchi di *Asaia* e introdurli in una popolazione di zanzare perché diffondano il batterio: si scelgono i maschi perché non pungono e, quindi, non aumentano la possibilità di trasmissione della malattia a chi vive nella zona. Se invece questi ceppi non dovessero esistere, si può

TRA GRANELLI DI SABBIA E GOCCE D'ACQUA

Per il grande entomologo e naturalista Edward O. Wilson (il "padre" della sociobiologia), la microbiologia ambientale è oggi la disciplina più affascinante. Ecco che cosa scrive nella sua autobiografia, *Naturalist* (Warner Books, New York 1994, non tradotto in italiano): «If I could do it all over again and relive my vision in the twenty-first century, I would be a microbial ecologist. [...] Into that world I would go with the aid of modern microscopy and molecular analysis. I would cut my way through clonal forests sprawled across grains of sand, travel in an imagined



submarine through drops of water proportionately the size of lakes, and track predators and prey in order to discover new life ways and alien food webs. All this, and I need venture no farther than ten paces outside my laboratory building. The jaguars, ants, and orchids would still occupy distant forests in all their splendor, but now they would be joined by an even stranger and vastly more complex living world virtually without end».

pensare – anche se la via è più difficile – di produrli in laboratorio attraverso tecniche di ingegneria genetica.

Quali sono i ferri del mestiere di un microbiologo ambientale?

Quando si ha per le mani un campione nuovo, per prima cosa si misurano le attività presenti *in situ*: tasso di respirazione, di produzione di CO₂, di azotofissazione e così via. Si tratta, in pratica, di scattare una fotografia del funzionamento del sistema. In secondo luogo, si studia la diversità microbica presente nel campione. Come abbiamo detto, non si può farlo isolando i singoli organismi, ma occorre basarsi su metodi molecolari: esistono tecniche specifiche per amplificare e sequenziare tratti di DNA che dicono quali e quanti organismi sono presenti in un campione. Quando è possibile, infine, si cerca di isolare gli organismi per studiarli meglio. Per esempio, una volta isolato il batterio *Asaia*, lo abbiamo reintrodotto nelle zanzare dopo averlo manipolato geneticamente per marcarlo con una proteina fluorescente: in questo modo, abbiamo potuto seguirne il percorso nell'ospite, scoprendo come lo colonizzava, come veniva trasmesso ecc.

Lei consiglierebbe a un giovane studente di tenere d'occhio questo settore di ricerca per un possibile sviluppo professionale?

Sì, mi sento decisamente di consigliarlo. In particolare nei settori dell'ambiente e dell'alimentazione, le biotecnologie microbiche stanno aprendo scenari immensi: credo che, per chi ha voglia di fare e di mettersi in gioco, lo spazio ci sia! 🍌



VALENTINA MURELLI

è giornalista e redattrice scientifica free lance. Collabora con varie testate tra cui "Le Scienze", "Mente e Cervello" e "L'Espresso".



Un passo in avanti

COME SI STUDIANO I BATTERI

Acqua, suolo, corpo umano, ambienti estremi: i batteri sono ovunque e sappiamo che sono moltissimi. Si ritiene che ne esistano addirittura 10 milioni di specie differenti; eppure, finora ne sono state descritte formalmente solo poche migliaia [1]. Una discrepanza dovuta soprattutto alle difficoltà “tecniche” poste dallo studio di questi organismi, che non possono essere facilmente osservati e coltivati e che spesso non vivono isolati, ma in comunità ricche di specie diverse. Per questo, la maggior parte degli avanzamenti nel settore della microbiologia è dipeso proprio da avanzamenti metodologici. I principali sono descritti nella tabella seguente.



J. CRAIG VENTER INSTITUTE

🔗 Filtrazione di un campione di acqua del canale di Panama, a bordo del *Sorcerer II*.

Metodo	Caratteristiche	Osservazioni
Microscopia	L'osservazione al microscopio rende visibile l'aspetto dei batteri. Combinata a speciali tecniche di colorazione, può essere usata per contare i diversi <i>taxa</i> presenti in un campione ambientale e per ipotizzare lo svolgimento, in quel campione, di particolari processi biologici.	L'aspetto fenotipico di un batterio non è un indicatore sufficiente per attribuirlo a una determinata specie.
Coltura	Singole cellule di un particolare microrganismo possono essere cresciute separatamente da altri microrganismi in un mezzo di coltura liquido o solido.	È il modo migliore per studiare la biologia di un microrganismo. La maggior parte dei batteri, però, non è attualmente coltivabile in isolamento e potrebbe non esserlo mai: alcuni batteri, per esempio, potrebbero aver bisogno della presenza di altri per sopravvivere.
Sequenziamento dell'RNA ribosomale (rRNA)	La tecnica si basa sull'amplificazione (tramite reazione a catena della polimerasi, PCR) e il sequenziamento di geni codificanti per gli RNA ribosomali, in particolare l'rRNA 16S. Si tratta di geni che si sono mantenuti sufficientemente simili in organismi differenti da poter essere amplificati con lo stesso set di “strumenti” molecolari. La loro sequenza, tuttavia, è sufficientemente diversa da permettere di discriminare tra organismi differenti.	Questo metodo ha rivoluzionato la ricerca microbiologica negli anni ottanta del secolo scorso, consentendo la rapida caratterizzazione del tipo e del numero di batteri presenti in un campione.
Sequenziamento <i>shotgun</i> di singole specie coltivabili	Il DNA di un organismo viene isolato e frammentato; i singoli frammenti sono sequenziati con l'aiuto di un sequenziatore automatico. Le tante sequenze ottenute sono assemblate in sequenze più lunghe, grazie a programmi bioinformatici che permettono di sovrapporre i singoli frammenti. Infine, la sequenza completa del genoma può essere ottenuta riempiendo i “buchi” rimasti tra i frammenti sovrapposti.	È lo stesso metodo usato anche per il sequenziamento del genoma umano ed è stato finora applicato a oltre 1000 batteri. Un limite: ciascun genoma così ottenuto rappresenta in realtà la “fotografia” di un singolo organismo o di pochi organismi.
Metagenomica	Si tratta sempre del sequenziamento mirato (in genere dei geni per gli rRNA) oppure casuale (con metodo <i>shotgun</i>) di DNA batterico. In questo caso, però, il DNA non appartiene a una singola specie, ma viene isolato direttamente da un campione prelevato dall'ambiente (acqua, suolo ecc.) e rappresenta quindi l'insieme del DNA di tutti i batteri presenti in quel campione.	Questo metodo consente di identificare con un elevato grado di precisione le differenti specie batteriche presenti in un campione senza bisogno di coltivarle.

RISORSE

1. J. Elsen, *Environmental shotgun sequencing: its potential and challenges for studying the hidden world of microbes*, in “PLoS Biology”, 2007, 5, euro 82.





Ora tocca a te

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Uno dei limiti principali in microbiologia è il fatto che la maggior parte dei batteri non può essere isolata in laboratorio. Prova a suggerire alcune motivazioni per le quali un batterio potrebbe non essere coltivabile.

SCIENZA E SOCIETÀ

1. Benché la maggior parte delle persone si limiti ad associare i batteri alle malattie, i microrganismi sono molto più utili alla nostra società di quanto siano dannosi. Tra i tanti esempi possibili, vale la pena citare quello del biorisanamento o *bioremediation*: un insieme di tecnologie che utilizzano microrganismi naturali oppure ricombinanti (ingegnerizzati in laboratorio) per degradare sostanze tossiche (metalli, composti radioattivi, pesticidi, idrocarburi ecc.) attraverso i loro processi metabolici. Dopo una ricerca in Internet o in biblioteca scegli un esempio di biorisanamento e prepara una breve presentazione per descriverlo ai tuoi compagni.

PICCOLO LABORATORIO*

I biofilm batterici possono svilupparsi ovunque, anche su fogli di plastica rivestiti con le sostanze più differenti. Prova anche tu, con questa piccola attività, a studiare il fenomeno, cercando di scoprire quali superfici facilitano la formazione del biofilm e quali condizioni, invece, possono ostacolarla.

Materiale occorrente: un secchio profondo almeno 40 cm; un bastone più lungo del diametro del secchio; una bottiglia di plastica da 2 l (senza etichetta); forbici; un cacciavite o punteruolo; due piccoli pesi (pietre ecc.); una cordicella; un contenitore per liquidi largo e poco profondo; una lente di ingrandimento; diversi tipi di sostanze di rivestimento: vaselina, salsa piccante, smalto per unghie, vernice, crema abbronzante...

1. prepara un piccolo stagno artificiale: riempi il secchio con acqua del rubinetto, lascia riposare per 24 ore e poi versa del fango all'interno e mescola;

2. prepara 5 strisce di plastica a partire dalla bottiglia: tagliale le estremità (circa 5 cm per parte) generando un cilindro, poi taglia questo per il lungo in modo da ottenere un rettangolo e suddividilo in 5 strisce di dimensioni analoghe. Con il cacciavite pratica un buco alle due estremità di ciascuna;

3. versa su entrambi i lati di 4 delle 5 strisce le sostanze di rivestimento a tua scelta (una per striscia) e lascia asciugare;

4. assembla le 5 strisce come nella figura in questa pagina, mantenendole a una distanza di circa 3 cm e legando in fondo alle due estremità della corda due piccoli pesi;

5. appendi la struttura ottenuta al bastone e appoggialo sul secchio, in modo che tutte le strisce siano immerse

nell'acqua. Lascia riposare per 2 settimane;

6. trasferisci con cautela un po' d'acqua dal secchio a un contenitore basso e largo e sposta la struttura con le strisce al contenitore, in modo che non secchino;

7. esamina i biofilm con la lente d'ingrandimento. Vedrai probabilmente delle piccole macchie di colore giallo, marrone o rossastro. Classifica la crescita ottenuta su ciascuna striscia in una scala da 1 (crescita minima) a 5 (crescita massima), assegnando alla striscia priva di rivestimento il valore 3. Riporta i dati ottenuti su un istogramma.

Rispondi alle seguenti domande:

a. Su quali rivestimenti i biofilm sono cresciuti meglio?

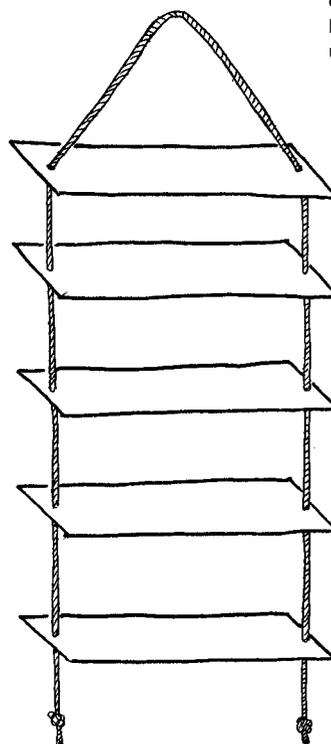
b. Su quali sono cresciuti con più difficoltà?

c. Che cosa puoi dedurre da questi risultati sulla formazione dei biofilm?

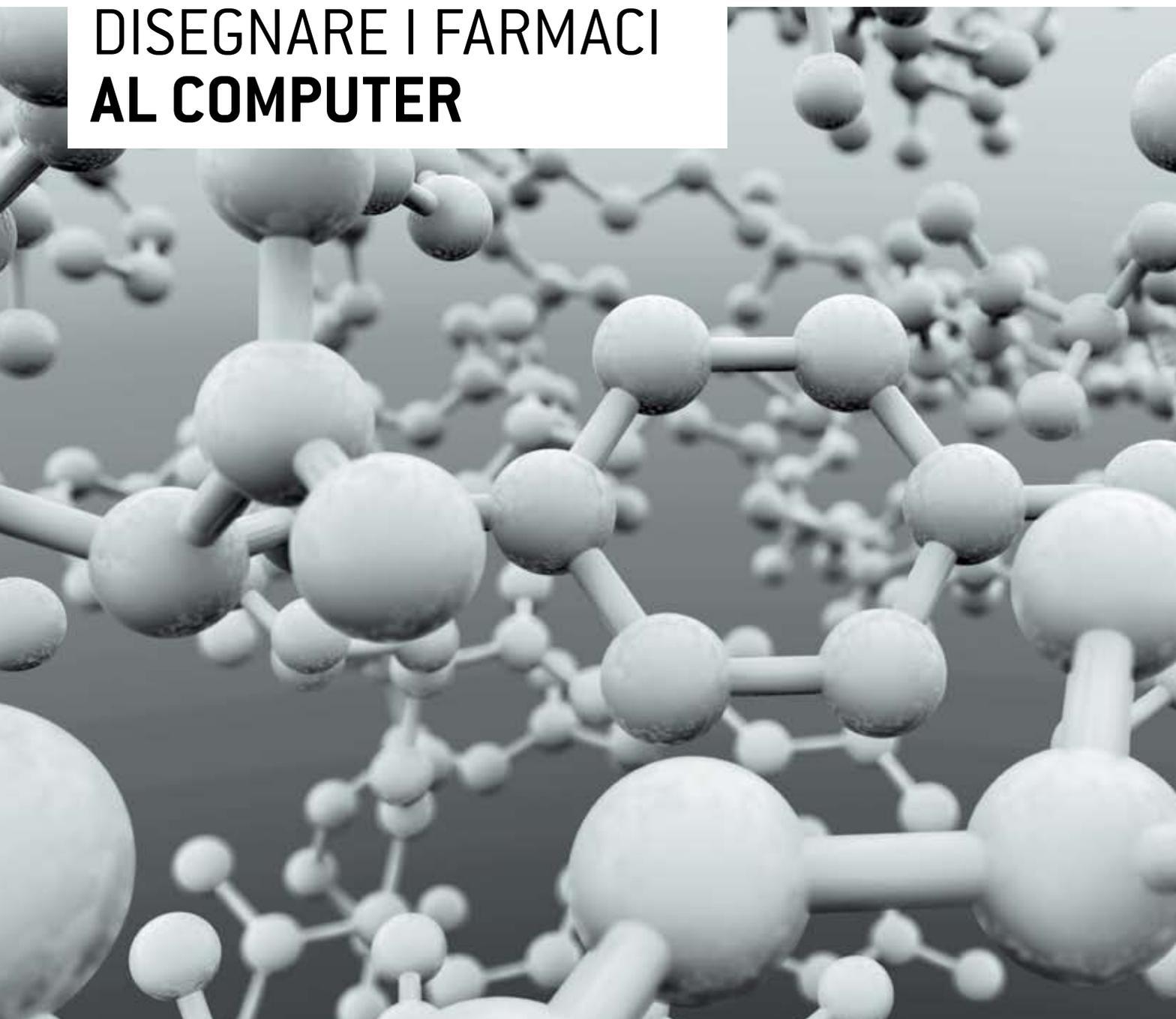
d. Secondo te, quali problemi può causare la formazione di biofilm? Proponi qualche esempio.

*Esperienza elaborata dalla National Association of Biology Teachers e adattata dall'American Society for Microbiology

Apparato sperimentale per lo studio dei biofilm, costruito con una bottiglia di plastica e una cordicella.



DISEGNARE I FARMACI AL COMPUTER



Non solo chimica e biologia: anche l'informatica è diventata fondamentale per progettare e sviluppare nuovi farmaci. Un *progettista molecolare* ci spiega come, partendo da informazioni genetiche e strutturali, il computer semplifichi e velocizzi la ricerca di sostanze terapeutiche.

 GIULIO RASTELLI



ISTOCKPHOTO

Discipline come la genomica e la biologia molecolare giocano un ruolo fondamentale nell'identificazione di bersagli biologici

I farmaci hanno modificato sostanzialmente il nostro modo di vivere. Grazie ai farmaci oggi è possibile curare malattie un tempo inguaribili, e la ricerca farmaceutica è costantemente impegnata in nuove sfide, come la lotta contro i tumori. Ma come avviene oggi la scoperta di un nuovo farmaco?

Per capire la differenza rispetto al passato, occorre ricordare che fino a non molto tempo fa è stato spesso il caso ad aver giocato un ruolo fondamentale nelle grandi scoperte farmaceutiche. Molti farmaci che tutti conosciamo, come alcune classi di antibiotici o di sulfamidici (altre sostanze antibatteriche), sono derivati da ipotesi di ricerca errate o a seguito di osservazioni impreviste nel corso di esperimenti in cui in realtà si stava cercando altro (ciò che va sotto il termine di *serendipità*). Oggi, senza un'ipotesi razionale basata sulla conoscenza delle basi molecolari delle malattie e senza una precisa pianificazione degli esperimenti in laboratorio non è possibile pensare di svolgere alcuna ricerca farmaceutica.

Alla ricerca del proiettile giusto

La scoperta di un nuovo farmaco, infatti, è il risultato di una complessa attività di ricerca e sviluppo che sempre più appare di carattere multidisciplinare. Immaginiamo di aver identificato nell'organismo umano un bersaglio biologico responsabile di una determinata patologia. Solitamente, questo è una proteina, un enzima, un recettore di membrana oppure un acido nucleico. Ebbene, dovremo ricercare un farmaco che funzioni come un "proiettile" in grado di "centrare" il bersaglio biologico e produrre così un effetto terapeutico. Il successo della ricerca dipenderà da un

complesso percorso composto di varie fasi sequenziali, tutte strettamente connesse tra loro. Si parte dall'identificazione di nuove molecole dotate di attività biologica nei confronti di un particolare bersaglio, per poi proseguire mediante livelli successivi di ottimizzazione di tutte quelle proprietà che concorrono nel trasformare una molecola biologicamente attiva in un farmaco.

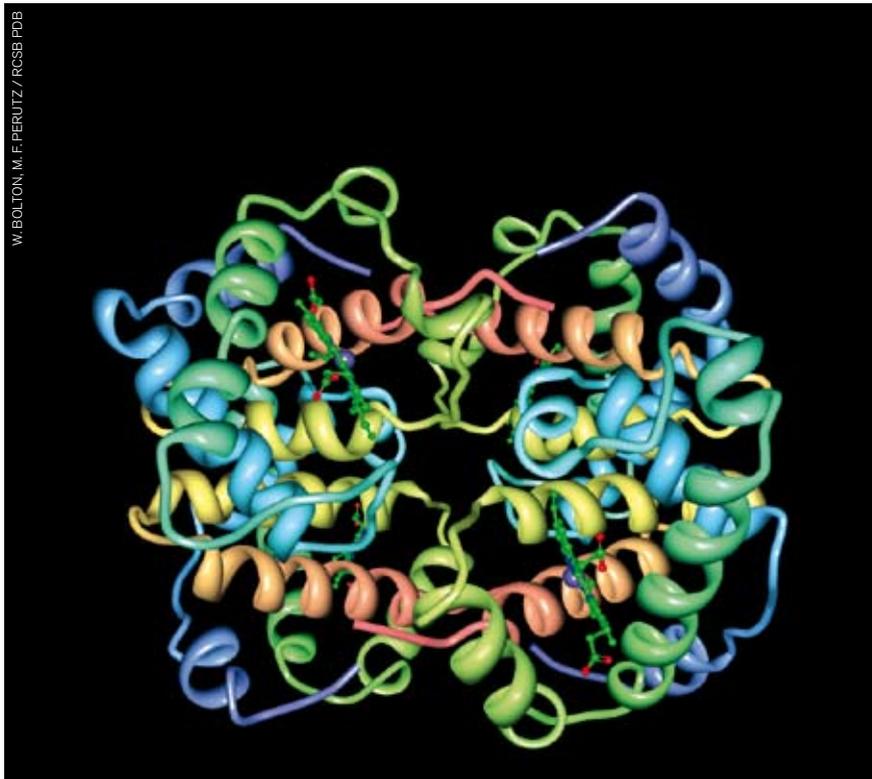
Geni come punto di partenza

Discipline come la genomica e la biologia molecolare giocano un ruolo fondamentale nell'identificazione di bersagli biologici. Basti pensare alla quantità di potenziali bersagli che potranno emergere dal Progetto genoma umano, il cui scopo è stato quello di mappare il genoma della nostra specie, definendo la sequenza, la struttura e la posizione dei circa 25 000 geni presenti. Un esempio: anche grazie ai risultati del Progetto genoma, sono state identificate nell'essere umano oltre 500 differenti chinasi (una famiglia di enzimi capace di trasferire gruppi fosfato da molecole donatrici come l'ATP a substrati specifici), molte delle quali fungono da regolatori chiave in varie tappe di sviluppo e progressione dei tumori. Per questo, oggi le chinasi sono studiate come potenziali bersagli biologici, al fine di sviluppare nuovi farmaci antitumorali.

Un processo in più fasi

Una volta individuati i bersagli biologici, bisogna definirne la struttura tridimensionale a un livello di precisione il più elevato possibile (caratterizzazione strutturale). Il risultato, ottenuto grazie a studi di biologia strutturale e di biologia computazionale, costituisce un punto di riferimento per costruire proiettili adatti a

📌 Ricostruzione grafica di un modello di struttura tridimensionale di una proteina.



W. BOLTON, M. F. PERUTZ / RCSB PDB

➤ **Struttura 3D di una molecola di emoglobina di cavallo. Sono evidenti i quattro gruppi eme posti al centro di ciascuna catena polipeptidica che compone la molecola.**

colpire solo quei bersagli e non altri. A questo punto, infatti, si procede con l'identificazione di molecole capaci di legarsi in modo efficace e selettivo al bersaglio selezionato. Come vedremo meglio in seguito, in questa operazione gioca un ruolo chiave la progettazione al computer. Una volta individuate le molecole proiettili che sembrano avere la migliore interazione possibile con il bersaglio biologico, queste vengono sintetizzate nel laboratorio chimico e poi valutate sperimentalmente attraverso saggi biologici e farmacologici *in vitro* e sulle cellule.

Se in questo modo si riesce a ottenere una molecola interessante, questa costituisce il punto di partenza per effettuare successive fasi di ottimizzazione delle sue proprietà, in un processo che è spesso iterativo. In pratica, le fasi di progettazione, sintesi e valutazione biologica vengono estese a un numero generalmente elevato di molecole, simili a quella di partenza ma più potenti o più selettive, oppure meno tossiche o maggiormente assorbibili.

Dal laboratorio al paziente

Il percorso, a questo punto, non è certo terminato. Dopo aver determinato una o più molecole che rispondano ai requisiti chimici e biologici richiesti, le indagini

TANTE BIOLOGIE PER UN FARMACO

Sono diverse le discipline biologiche coinvolte nella progettazione di nuovi farmaci. Ecco le principali.

Bioinformatica Con l'immensa quantità di dati messi a disposizione dall'avvento dell'era genomica (in particolare sequenze di acidi nucleici e di proteine) si è reso necessario disporre di strumenti informatici adatti a immagazzinarli ed elaborarli. La bioinformatica si occupa proprio dello sviluppo e dell'integrazione di applicazioni informatiche al servizio della ricerca biologica e biotecnologica.

Biologia computazionale Rappresenta un'estensione della bioinformatica (tradizionalmente legata soprattutto all'analisi del DNA) e si pone l'obiettivo di analizzare e risolvere i problemi biologici (come la determinazione della struttura di una molecola) attraverso sofisticate tecnologie informatiche.

Biologia molecolare Branca della biologia che si occupa dei meccanismi molecolari alla base della fisiologia degli esseri viventi, concentrandosi in particolare sulle macromolecole (DNA, RNA e proteine) e sulle loro interazioni.

Biologia strutturale Branca della biologia molecolare relativa allo studio dell'architettura e della morfologia di DNA, RNA e proteine. Si avvale del contributo di tecniche quali cristallografia ai raggi X, NMR, microscopia elettronica avanzata.

Genomica Studio della struttura, della composizione (sequenza), della funzione e dell'evoluzione del genoma degli organismi.

In laboratorio ci si va soltanto con le idee chiare su quali molecole vale veramente la pena di sintetizzare, risparmiando così tempo e risorse

procedono negli ospedali per la cosiddetta *sperimentazione clinica*, in cui le molecole vengono testate prima su pazienti sani e poi su quelli malati. Generalmente l'intero processo di messa a punto di un nuovo farmaco dura dai sette ai dieci anni prima che la molecola possa essere messa in commercio. Richiede perciò lunghe ricerche ed è molto dispendioso. Inoltre, il successo non è affatto garantito, poiché i candidati farmaci possono mostrare proprietà avverse durante ogni fase di sperimentazione, costringendo i ricercatori a tornare sui propri passi per migliorare la qualità delle molecole ed effettuare nuove verifiche.

Prima al computer, poi in laboratorio

Dopo aver descritto le tappe fondamentali della realizzazione di nuovi farmaci, torniamo al cuore del processo. Esistono milioni e milioni di combinazioni possibili tra gli elementi chimici, che danno luogo a numeri elevatissimi di molecole chimicamente diverse. Di queste soltanto pochissime, però, potranno funzionare come farmaci. Come riconoscerle? Chiaramente è necessaria una fortissima opera di selezione che restringa il campo alle molecole più promettenti. Oggi gran parte del lavoro di progettazione viene svolto al computer, grazie al quale si può

disegnare la struttura ottimale di un farmaco e simulare virtualmente la sua interazione con il bersaglio biologico, prima di effettuare esperimenti in laboratorio. In pratica, in laboratorio ci si va soltanto con le idee chiare su quali molecole vale veramente la pena di sintetizzare, risparmiando così tempo e risorse. Un elemento fortemente innovativo rispetto al passato è quindi costituito dalla possibilità di progettare razionalmente molecole *ad hoc*, cioè pensate e sviluppate per interagire selettivamente con un preciso bersaglio biologico da colpire.

Partire dalla struttura

La prima cosa da fare quando si cerca un nuovo farmaco è ottenere ed esaminare approfonditamente la struttura tridimensionale del bersaglio biologico che si intende colpire, per esempio una proteina.

Poiché solo la corretta conformazione di una proteina ne garantisce un corretto funzionamento, individuarne la struttura è spesso la chiave per comprendere come la proteina funziona e, di conseguenza, come può essere bloccata. Le tecniche utilizzate per determinare la struttura 3D di un bersaglio biologico sono la cristallografia ai raggi X oppure la risonanza magnetica nucleare (NMR).

Una volta nota la struttura, è necessario identificare al suo interno un *sito d'azione*, o cavità, che costituisce il fulcro da cui scaturisce l'attività biologica. Nel caso di un enzima, per esempio, sarà fondamentale valutare in che modo tale cavità possa accogliere al proprio interno, legandole a sé, molecole a basso peso molecolare quali substrati o inibitori. Se la struttura tridimensionale del bersaglio, per contro, non dovesse essere nota sperimentalmente, è allora possibile costruire modelli strutturali proprio grazie al computer, mediante approcci bioinformatici: allineando la sequenza amminoacidica del bersaglio incognito con quella di altri bersagli simili di cui sia nota la struttura sperimentale, si possono creare modelli tridimensionali del bersaglio desiderato, che potranno essere utilizzati per progettare le molecole. Tali metodi di ricostruzione si basano sull'evidenza che, in natura, le sequenze amminoacidiche simili tra loro adottano anche strutture tridimensionali simili.

L'importanza della complementarità

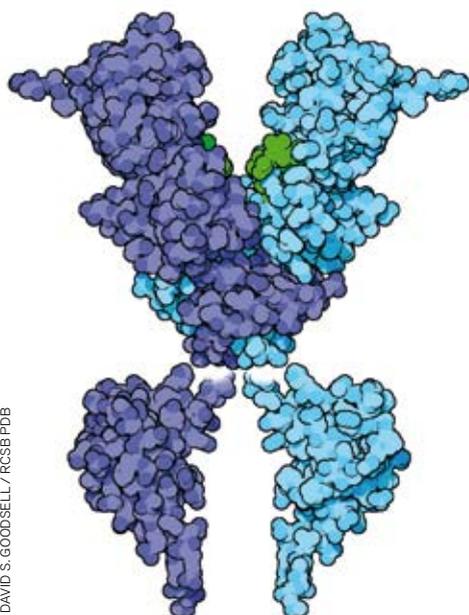
Nella figura di p. 19 di questo articolo vediamo come esempio il sito d'azione della proteina chinasi *Ab1*, bersaglio biologico del *Gleevec*®, un importante farmaco utilizzato nella terapia antitumorale. Legandosi al sito d'azione della

RAGGI X E RISONANZA MAGNETICA PER SCOPRIRE COME SONO FATTE LE MOLECOLE

Le tecniche utilizzate per determinare la struttura 3D di un bersaglio biologico sono due: la cristallografia ai raggi X e la risonanza magnetica nucleare (NMR). Nel primo caso, di gran lunga il più utilizzato, occorre prima di tutto ottenere la proteina allo stato cristallino. Per fare questo, la proteina viene lasciata cristallizzare in soluzione acquosa fino alla formazione di un cristallo ordinato, che viene poi montato su uno strumento chiamato *diffrattometro*, mediante il quale è bombardato con raggi X. Gli elettroni degli atomi che compongono la proteina diffrangono i raggi X incidenti, creando una mappa di segnali di diffrazione che sono catturati da un rivelatore. L'intensità e la posizione dei segnali di diffrazione dipendono da come gli atomi della proteina sono disposti spazialmente gli uni rispetto agli altri, e cioè dalla struttura della proteina. È proprio l'analisi di questi segnali a rendere possibile la ricostruzione di uno schema tridimensionale della proteina stessa. La tecnica NMR si basa, invece, sulla misurazione delle proprietà di *spin* degli atomi di idrogeno della proteina (o, in alternativa, di alcuni isotopi radioattivi con cui la proteina è stata precedentemente marcata) quando questa viene sottoposta a un campo magnetico. In queste condizioni, gli atomi "rispondono" emettendo diversi tipi di onde, dipendenti sia dalla natura chimica degli atomi stessi sia dalla loro disposizione spaziale rispetto ad altri atomi.

Ricostruzione grafica di una molecola di caspasi, una classe di enzimi coinvolta nel processo di morte cellulare programmata (apoptosi).

Così, l'analisi delle caratteristiche di queste onde permette di risalire alla struttura tridimensionale della proteina in esame. Le strutture tridimensionali di proteine e altre macromolecole biologiche vengono depositate nella banca dati ad accesso pubblico Protein Data Bank (PDB).





IL PROCESSO DI SVILUPPO DI UN NUOVO FARMACO:

dall'individuazione del bersaglio biologico all'identificazione di un candidato valido.



Validazione Definizione fine delle caratteristiche chimiche e biologiche (solubilità, selettività, facilità di sintesi ecc.) delle prime molecole biologicamente attive ottenute nel corso della progettazione, per stabilire se è opportuno procedere con il lavoro.

Lead Termine inglese con il quale si indica il capostipite di una nuova

famiglia di molecole biologicamente attive che hanno superato la fase di validazione.

Farmacologia Studio degli effetti fisiologici delle molecole ottenute.

Tossicologia Valutazione degli eventuali meccanismi di tossicità delle molecole ottenute.

Farmacocinetica e metabolismo Valutazione quantitativa della velocità

di assorbimento, distribuzione ed eliminazione delle molecole ottenute e del loro metabolismo.

Formulazione e veicolazione

Definizione della forma e, di conseguenza, della modalità di somministrazione più adatta per il candidato farmaco (compressa, capsula, polvere, soluzione, cerotto ecc.).



chinasi, il Gleevec® ne inibisce l'attività, inibendo di conseguenza anche la crescita delle cellule tumorali. Come abbiamo visto, nell'uomo esiste un gran numero di chinasi e di molte sono note le strutture tridimensionali. Conoscendo le dimensioni, la forma e le proprietà chimiche del loro sito d'azione, è possibile progettare al computer potenziali farmaci le cui strutture molecolari vengono modellate e adattate direttamente a questo sito, valutando quindi la complementarità delle molecole progettate (i proiettili) con gli amminoacidi che compongono il sito stesso (il bersaglio). Tanto maggiore è la complementarità, tanto più è probabile che la molecola disegnata risulti biologicamente attiva. Queste operazioni sono svolte attraverso l'utilizzo di software dedicati per la progettazione molecolare, sviluppati e migliorati costantemente proprio dai ricercatori che li utilizzano. In moltissimi casi, tali approcci hanno potuto suggerire nuove molecole che sono state poi sviluppate come potenziali farmaci attraverso fasi successive di ottimizzazione.

Farmaci come navi

Un ruolo importante a questo proposito è costituito dallo *screening virtuale*, che consente di valutare al computer

l'efficacia di milioni di molecole, evitando quindi una lunga e costosa fase sperimentale. In pratica, si tratta di un metodo automatizzato che fa uso di librerie di milioni di composti chimici già esistenti, da cui "pescare" quelli che danno le interazioni più forti con il bersaglio biologico da colpire. Tali metodologie vanno sotto il nome di *docking*, termine inglese che significa "approdare", "attraccare", e che dà l'idea di come un farmaco, paragonato a una nave, attracchi presso la cavità di un bersaglio biologico, visto come un porto d'approdo. Mediamente, dopo l'analisi di librerie contenenti vari milioni di molecole si arriva in laboratorio con le migliori 30-50 molecole, avendo già superato molte delle fasi del processo di creazione di un potenziale farmaco.

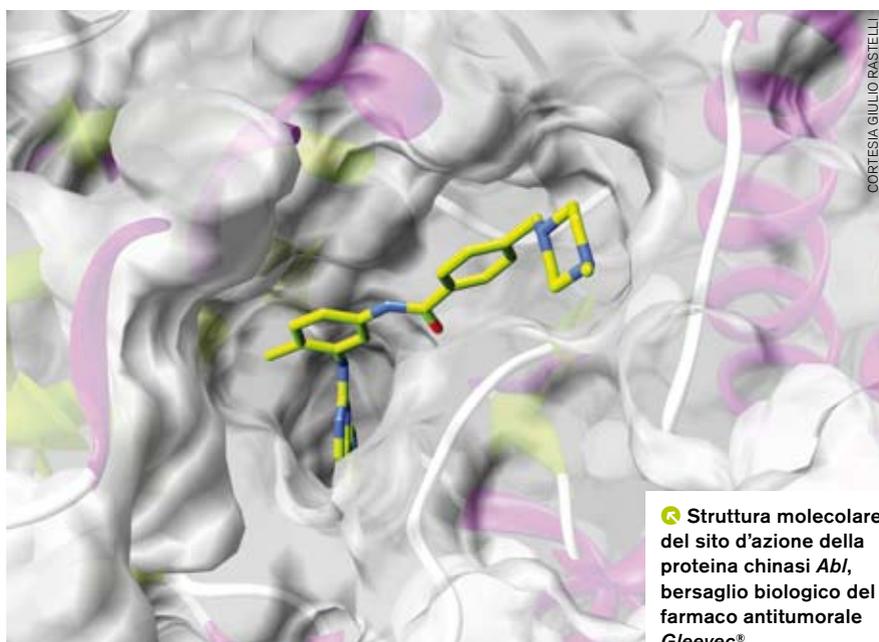
GRID per la farmacologia

Un aspetto rilevante della progettazione del farmaco al computer è dato anche dalla velocità con cui possiamo ottenere i risultati. Da alcuni anni a questa parte la comunità scientifica internazionale dispone di vaste reti di supercomputer per il calcolo scientifico, condivise e distribuite fra Europa, Asia e America, note come reti di calcolo GRID. La caratteristica di queste infrastrutture risiede nell'ampia

disponibilità di unità di calcolo (circa 80 000 processori nel caso del network EGEE, Enabling Grids for E-science), che permettono di effettuare un elevato numero di operazioni contemporaneamente. Attraverso il GRID computing si possono analizzare in simultanea milioni e milioni di molecole, con un grandissimo risparmio di tempo (e denaro).

Professioni del futuro

La progettazione del farmaco assistita dal computer è ormai diventata una disciplina scientifica vera e propria, nel cui ambito il progettista molecolare, la cui formazione spazia dalla chimica alla biologia, all'informatica, concepisce e mette a punto architetture molecolari fortemente specializzate, ad elevato potenziale terapeutico. È evidente che la componente creativa gioca un ruolo fondamentale nella progettazione molecolare, insieme all'istinto e all'esperienza. Il computer e gli algoritmi di progettazione costituiscono strumenti di lavoro quotidiani, indispensabili per verificare le ipotesi, vagliare nuove idee e costruire molecole spesso *ab initio* ma, come tutti gli strumenti di lavoro, devono essere guidati dal ricercatore nella maniera più opportuna. ➔



GIULIO RASTELLI

è professore associato di chimica farmaceutica e docente dei corsi di progettazione del farmaco e di struttura delle biomolecole all'Università di Modena e Reggio Emilia, dove dirige il Laboratorio di *molecular modelling* e progettazione del farmaco.



Un passo in avanti

COME FUNZIONANO LE SPERIMENTAZIONI CLINICHE

È ovvio che un farmaco non dovrebbe presentare rischi per il consumatore (o, quantomeno, dovrebbe presentare rischi ridotti rispetto ai benefici offerti). Per questo motivo, ogni nuova molecola terapeutica sintetizzata viene sottoposta a un'accurata sperimentazione preclinica *in vitro* (su colture di cellule) o *in vivo* (su cavie da laboratorio), per ottenere una prima valutazione della sua reale efficacia farmacologica e dei possibili effetti tossici per l'uomo.

L'organismo umano, però, è talmente complesso da rendere scarsamente prevedibili tutte le possibili interazioni di una molecola estranea con i suoi sistemi fisiologici: è quindi necessario condurre una sperimentazione anche sugli esseri umani. Se i risultati della fase preclinica sono positivi, la compagnia farmaceutica che ha sviluppato la molecola terapeutica fornisce tutti i dati raccolti alle autorità regolatorie (per esempio l'Emea – European Medicines Agency – in Europa) e richiede l'approvazione a eseguire test sugli esseri umani. Si parla in questo caso di **sperimentazione clinica** (o trial clinico), un processo suddiviso in più fasi.

Fase 1 Studi condotti su un piccolo numero di volontari sani, che non stanno assumendo farmaci. Questa fase non valuta l'efficacia terapeutica del farmaco, ma serve a valutare la sua sicurezza e le sue interazioni fisiologiche con l'organismo: come viene metabolizzato, in quanto tempo viene eliminato e così via. Per esempio, se un farmaco viene espulso in gran parte con le urine poco tempo dopo la somministrazione, i suoi benefici saranno ridotti. In questo caso, sarà necessario trovare nuove formulazioni della sostanza, che ne permettano una permanenza maggiore nell'organismo. In questa fase viene anche stabilita la dose massima di farmaco accettabile per l'assunzione umana.

Fase 2 Studi condotti negli ospedali su piccoli numeri di pazienti affetti dalla malattia per la quale è stato sviluppato il farmaco; servono a valutare la sicurezza della molecola terapeutica sui malati, gli eventuali effetti collaterali e l'efficacia in generale. In genere, questa fase prevede un confronto tra il farmaco sperimentale e un **placebo** (un composto privo di attività farmacologica) oppure un farmaco per la stessa malattia già in commercio.



ISTOCKPHOTO

Fase 3 Rappresenta un'estensione della fase 2. Il farmaco viene sperimentato su un numero molto più ampio di pazienti, spesso in più centri di ricerca contemporaneamente (studio multicentrico) e per periodi di tempo più lunghi. L'obiettivo è affinare tutte le possibili valutazioni in termini di efficacia, sicurezza, dosaggio, formulazioni ecc.

Fase 4 Il farmaco è ormai stato approvato dalle autorità regolatorie e messo in vendita, ma gli studi continuano su tutta la popolazione di utilizzatori. I risultati di questo controllo continuo a lungo e lunghissimo termine servono per valutare con precisione ancora maggiore l'efficacia del nuovo farmaco rispetto ad altri composti già in commercio e la sua sicurezza in un numero elevatissimo di pazienti. T. C. e V. M.

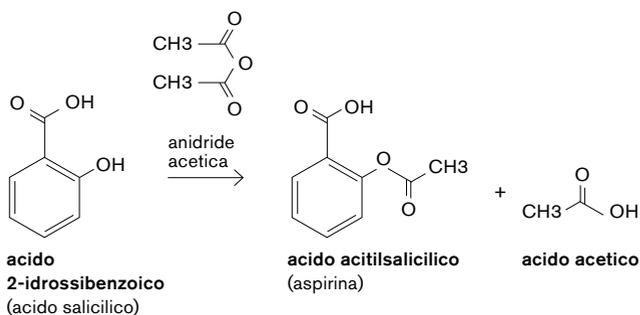
⬆️ **Una fase della preparazione industriale di farmaci in compresse.**



Ora tocca a te

DOMANDE E ATTIVITÀ

L'aspirina (acido acetilsalicilico), il farmaco più venduto al mondo, è anche quello più sfruttato nei laboratori didattici, perché la sua sintesi è semplice ma particolarmente rappresentativa. Come tanti altri farmaci, infatti, l'aspirina deriva da un principio attivo naturale – l'acido salicilico – modificato tramite procedure sintetiche. In particolare, poiché la somministrazione dell'acido salicilico presenta notevoli effetti collaterali a causa dell'acidità della molecola, questa viene esterificata con anidride acetica per ottenere un prodotto meno acido e di sapore gradevole: l'acido acetilsalicilico. Dopo aver osservato la reazione, cerca di rispondere alle domande seguenti:



- Che cos'è un'esterificazione? Potresti descriverne il meccanismo?
- L'acido salicilico ha un'acidità maggiore dell'acido acetilsalicilico. Spiega questo dato in base alla struttura delle due molecole, ragionando in termini di stabilità della base coniugata di ciascun acido.
- La reazione di sintesi dell'aspirina avviene tramite catalisi acida. Che cos'è un catalizzatore?

SCIENZA E SOCIETÀ

1. Alcuni scandali che hanno coinvolto grosse industrie farmaceutiche hanno reso l'opinione pubblica molto diffidente nei confronti dei farmaci di sintesi, sebbene a essi vada il merito di aver notevolmente migliorato le nostre condizioni di salute e la durata di vita media. Emblematico è il caso della talidomide, farmaco rivolto in particolare alle donne in gravidanza che causò la nascita di migliaia di bambini con gravi alterazioni congenite. La talidomide fu ritirata dal mercato nel 1961, quando ormai erano chiari i suoi effetti collaterali. Dopo una ricerca sull'argomento (puoi partire da Wikipedia, cercando sia "talidomide" sia "chiralità"; utile anche il libro *La chimica allo specchio* di Roald Hoffmann, che ha un capitolo sulla vicenda), rispondi alle seguenti domande:

- Quali furono gli errori commessi durante la fase preclinica?
 - L'effetto nocivo del farmaco era dovuto a una forma particolare della talidomide: quale?
 - Dopo aver risposto alla precedente domanda, spiega come le moderne tecniche di simulazione molecolare, che consentono di visualizzare l'interazione tra due molecole in 3D, sarebbero state d'aiuto per prevenire i danni della talidomide.
 - Molti si stupiranno nel sapere che la talidomide è utilizzata ancora oggi nel trattamento di malattie come la lebbra, e ha rivelato insospettite potenzialità nella cura dei tumori o dell'AIDS. Esprimi le tue riflessioni in merito.
2. È sempre più diffusa la convinzione che tutto ciò che proviene dalla natura – sostanze terapeutiche comprese – sia meno nocivo dei prodotti di sintesi. Lo dimostra l'ampia diffusione di medicine e rimedi cosiddetti alternativi, spesso di dubbia efficacia. Con l'aiuto dell'insegnante di filosofia analizza la dicotomia naturale/artificiale, cercando di capire le motivazioni psicologiche alla base della nostra preferenza per il naturale, anche quando questa non è supportata dall'evidenza scientifica.

SCRIVERE DI SCIENZA

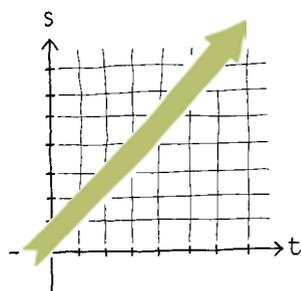
Un problema di scottante attualità è l'atteggiamento delle case farmaceutiche nei confronti dei paesi in via di sviluppo. In genere, le molecole terapeutiche sono brevettate, ma l'esistenza dei brevetti impedisce l'abbassamento dei prezzi, cosa che rende l'accesso ai farmaci praticamente impossibile in molti luoghi del pianeta. Approfondisci l'argomento, esprimendo in un breve articolo il tuo punto di vista sulla conciliabilità tra il diritto alla salute e gli interessi commerciali.

LA FISICA E L'EVOLUZIONE

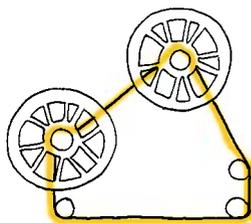
Che cosa succede quando si introduce in fisica il concetto di tempo come realtà irreversibile? Ce lo racconta una docente e comunicatrice scientifica, partendo dagli studi di Clausius per arrivare alla nuova visione proposta dal fisico Enzo Tiezzi.

FRANCESCA E. MAGNI

Spazio e tempo sono da sempre oggetto dell'indagine scientifica e della speculazione filosofica. Il tempo che sperimentiamo nella nostra vita quotidiana è "asimmetrico" perché può scorrere solo in avanti, verso il futuro. In fisica invece la maggior parte delle leggi non cambia se si inverte il corso degli eventi. Il tempo, infatti, nella fisica classica così come anche nella meccanica quantistica, è una coordinata come lo spazio e non è irrimediabile come il tempo della vita.



In termini tecnici si dice che le equazioni della fisica sono reversibili rispetto al tempo. I sistemi fisici possono cioè ritornare al loro stato iniziale "senza lasciare tracce", rifacendo all'indietro i passi fatti in avanti, come quando si riavvolge un film.

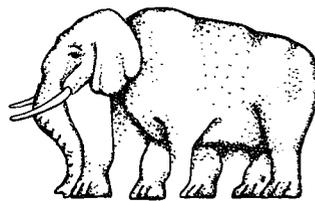


Spesso si parla di "freccia del tempo" per indicare quelle situazioni che si evolvono nel tempo e che non possono mai tornare indietro come se nulla fosse successo, modificandosi quindi in maniera irreversibile. È il caso di tutte quelle situazioni che costituiscono l'oggetto di studio di discipline basate su una prospettiva storica, come la biologia o la geologia. Per la fisica in generale, invece,

non esiste una vera e propria "freccia del tempo" perché – in linea di principio – non esiste nessun motivo per il quale il tempo sia costretto a scorrere in un'unica direzione. Il termine "freccia del tempo" fu inventato dall'astronomo inglese Sir Arthur Eddington (1882 – 1944).



Bisogna aggiungere che i fisici hanno in generale considerato il tempo come una pura illusione. Emblematiche sono le dichiarazioni di Albert Einstein alla morte del suo caro amico Michele Besso: «Egli mi ha preceduto di un poco nel congelarsi da questo strano mondo. Non significa niente. Per noi che crediamo nella fisica, la divisione tra passato, presente e futuro ha solo il valore di un'ostinata illusione» [1].

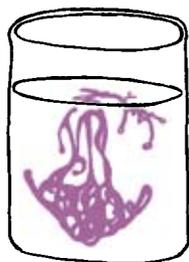


In fisica, il tempo compare per la prima volta come realtà irreversibile grazie alla termodinamica. Nata come scienza del calore, questa disciplina è lo studio delle trasformazioni dell'energia nelle sue varie forme.



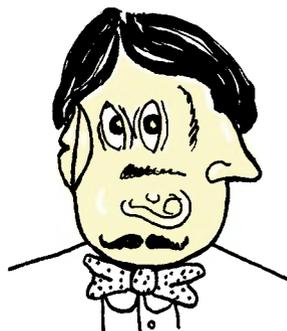
I fenomeni fisici presentano spontaneamente una direzione privilegiata, dall'ordine verso il disordine

In particolare, il secondo principio della termodinamica afferma che in natura esistono delle direzioni privilegiate per le trasformazioni spontanee. Esiste cioè una "freccia del tempo" anche in fisica. Basti pensare a questo semplice esperimento che chiunque può fare: se si mettono a contatto un corpo caldo e uno freddo, il calore passa sempre spontaneamente dal corpo caldo a quello freddo e non succede mai il viceversa. Oppure: se si prova a gettare una goccia di inchiostro in un bicchiere d'acqua, si osserva che essa spontaneamente si diluirà e colorerà l'acqua, mentre anche aspettando milioni di anni, non succederà mai che da solo l'inchiostro disciolto si separi dall'acqua per tornare ad assumere la forma originaria di goccia. Siamo quindi di fronte a un fenomeno fisico irreversibile.

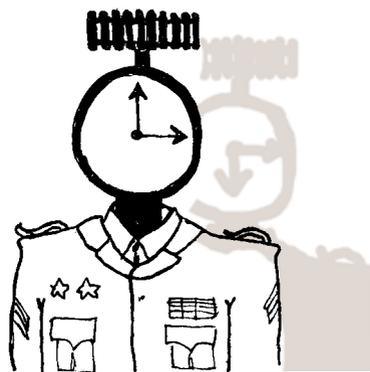


Fu Rudolf Julius Emanuel Clausius a formulare, all'incirca negli stessi anni (1865) della pubblicazione de *L'origine delle specie* di Darwin (1859), il secondo principio della termodinamica, insieme al concetto di entropia. Il termine entropia, coniato dallo stesso Clausius, contiene l'idea del tempo che scorre: deriva dal greco **τροπή** (trasformazione) o da **εντροπή** (conversione, mutazione o anche confusione). L'entropia ha molte interpretazioni e una di queste afferma che essa è una misura del disordine di un sistema. Per esempio: più una stanza è disordinata... maggiore è la sua entropia! Il secondo principio della termodinamica afferma che, se sono lasciati a se stessi, i fenomeni in natura evolveranno sempre verso lo stato di massimo disordine, cioè della massima entropia. E mano a mano

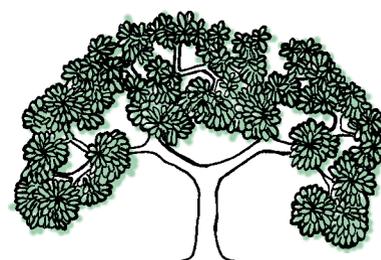
che l'entropia aumenta, anche l'energia si deteriora sempre di più (cioè diviene sempre meno utilizzabile). «Il massimo di entropia, che corrisponde allo stato di equilibrio di un sistema, è uno stato in cui l'energia è completamente degradata e non è più capace di fornire lavoro. L'entropia è quindi quel concetto che ci indica la direzione degli eventi», spiega il fisico Enzo Tiezzi.



Con l'introduzione del concetto di entropia, quindi, alla visione statica della dinamica classica si sovrappone una visione evolutiva. I fenomeni fisici presentano spontaneamente una direzione privilegiata, dall'ordine verso il disordine, verso forme di energia sempre più degradata e sono soggetti, come tutti, all'irreversibile "dominio del tempo". Il tempo scorre nella direzione in cui l'energia si degrada e l'entropia aumenta.



Ma il connotato del secondo principio non è affatto negativo come potrebbe sembrare, anzi: è proprio grazie all'irreversibilità dei sistemi "lontani dall'equilibrio" che possono nascere fenomeni nuovi e imprevedibili sempre più complessi e organizzati.



È stato Ilya Prigogine, premio Nobel per la chimica nel 1977, grazie ai suoi studi e alle sue teorie sulle strutture dissipative, a considerare definitivamente il tempo come realtà irreversibile. Il tempo è un fattore importantissimo, che regola e dirige l'evoluzione e il comportamento dei sistemi complessi. «Oggi penso che possiamo rifiutare la tentazione di una separazione radicale fra scienza e tempo», afferma Prigogine. «Non esiste un tempo dei fisici che sia differente da un tempo dei filosofi. L'irreversibilità non può più essere rifiutata come apparenza e con ciò stesso essa ci fornisce quella prospettiva che mancava a Einstein per poter affermare la realtà del tempo in quanto successione del passato, del presente e del futuro» [2].





VERSO UNA FISICA EVOLUTIVA

Il fatto che il concetto di tempo sia diventato non più un'illusione ma una proprietà reale dei sistemi, in grado di modificarli irreversibilmente, è un passo fondamentale in fisica. In questo modo, i processi evolutivi, importantissimi in biologia, assumono un ruolo decisivo anche per i fenomeni fisici. E più in particolare per i fenomeni che appartengono alla cosiddetta termodinamica di non equilibrio, la parte della fisica che si occupa delle trasformazioni di energia che avvengono in sistemi lontani dall'equilibrio.

Che sistema sei?

Il primo a occuparsi di questi sistemi è stato, alla fine degli anni sessanta, Ilya Prigogine, che ha coniato il termine *struttura dissipativa*. Per capire di che cosa si tratta, bisogna prima di tutto distinguere, in base al tipo di "rapporto" che hanno con l'ambiente circostante, tre tipi di sistemi: isolato, chiuso e aperto. Un sistema è isolato se non scambia nulla con l'esterno (come un liquido

contenuto in un thermos ermeticamente chiuso); chiuso se scambia solo energia ma non materia (come una bottiglia ermeticamente chiusa che quindi non può far uscire o entrare liquido, ma che può assorbire energia tramite passaggio di calore, riscaldandosi o anche raffreddandosi); aperto quando scambia sia energia sia materia sia informazione con l'esterno. Il sistema isolato è praticamente quasi impossibile da realizzare, perché un minimo scambio di energia con l'esterno è inevitabile: viene quindi catalogato tra i cosiddetti sistemi fisici "ideali", molto utili dal punto di vista teorico (e molto amati da Einstein). Il sistema chiuso è difficile da realizzare in maniera perfetta: se si pensa alla bottiglia sigillata, per esempio, ci si rende conto che qualche molecola d'aria passerà comunque tra l'esterno e l'interno; di conseguenza sono i sistemi aperti quelli che si incontrano nelle esperienze reali.

Nascita di ordine dal disordine

Una struttura dissipativa è un sistema aperto che lavora lontano dall'equilibrio. In queste strutture, il continuo flusso di energia con l'esterno influenza il comportamento di tutto il sistema: possono nascere nuove proprietà imprevedibili e il sistema, che ogni volta si riorganizza (o meglio si auto-organizza), può evolvere verso stadi e forme sempre più complesse. In questi sistemi, quindi, si possono creare inaspettatamente delle strutture ordinate, a partire da uno stato iniziale indifferenziato, instabile e disordinato: i fisici chiamano questo fenomeno "nascita di ordine dal disordine". Un esempio di struttura dissipativa sono le celle di Bénard, bellissime cellette esagonali che emergono spontaneamente – a una data temperatura – su un sottile strato di liquido riscaldato alla base con un flusso costante di calore.

Una nuova disciplina

«All'equilibrio l'energia e la materia sono cieche, lontano dall'equilibrio cominciano a "vedere"»: questa è la frase di Prigogine citata nel prologo del libro *Verso una fisica evolutiva* di Enzo Tiezzi, professore di chimica fisica all'Università di Siena [3].

Da alcuni anni Tiezzi e il suo gruppo di ricerca stanno lavorando alle frontiere della termodinamica e della biologia evuzionistica, per creare le basi di una nuova disciplina che si chiama fisica evolutiva o termodinamica ecologica

 Un esempio di reazione chimica oscillante di Belousov-Zhabotinsky fatta avvenire in una capsula Petri.



È grazie all'irreversibilità dei sistemi "lontani dall'equilibrio" che possono nascere fenomeni nuovi e imprevedibili sempre più complessi e organizzati

(ecodinamica). Questa disciplina aspira a sviluppare una proposta di reciproca fecondazione tra Charles Darwin e Ilya Prigogine, e contribuisce a fondare e arricchire la fisica dei sistemi complessi. Per Enzo Tiezzi, l'entropia e l'irreversibilità sono alla base dello sviluppo degli ecosistemi, della loro storia e dell'intera evoluzione.

Una matematica "irreversibile"

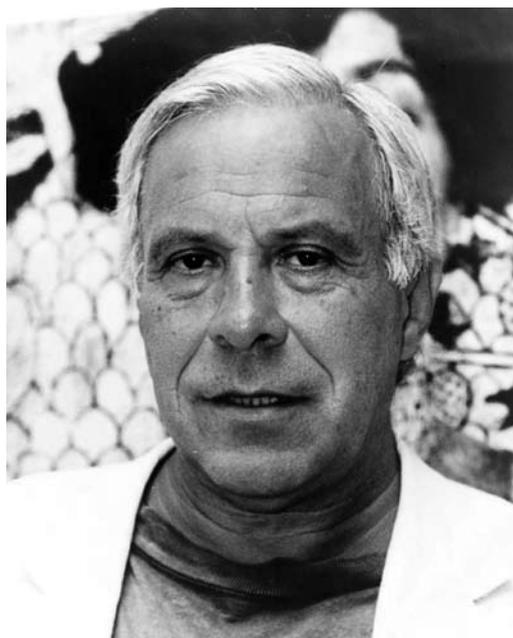
Per Tiezzi, lo spazio è reversibile e il tempo irreversibile e questo comporta un approccio teorico e di conseguenza matematico diverso da quello tradizionale. In termini più tecnici, Tiezzi non utilizza più l'approccio delle "funzioni di stato" termodinamiche ma adotta quello delle "funzioni goal" e delle "configurazioni dei processi" in grado di descrivere l'evoluzione dei sistemi incorporando in sé lo scorrere del tempo. I modelli ecodinamici si basano su relazioni e su funzioni che evolvono esse stesse nel tempo.

«Le leggi fondamentali della chimica fisica classica devono essere riviste, alla luce di una nuova *Gestalt* del tempo», afferma Tiezzi, dove per *Gestalt* si intende una "rappresentazione-visione". «Le equazioni devono essere irreversibili rispetto al tempo, non basate su una rigida gabbia (modello), ma aperte abbastanza da contenere elementi narrativi».

Dalle molecole ai... pipistrelli!

La ricerca di Tiezzi si occupa inevitabilmente di molte discipline e sistemi: dalle reazioni chimiche fino alla sostenibilità delle città... Per esempio, una tra le tante applicazioni svolte dal suo gruppo di lavoro è lo studio dei suoni della natura. I ricercatori di Siena hanno registrato i suoni emessi da alcuni animali, come quelli di differenti specie di pipistrelli e sono riusciti a realizzare un "analizzatore di impronte vocali" che a ogni animale associa uno specifico valore matematico. Insomma, hanno dimostrato con i fatti che la biodiversità può essere misurata! E tutto grazie all'analisi al computer dei suoni degli animali, che sfrutta gli strumenti matematici della scienza della complessità.

Abbiamo chiesto direttamente al professor Tiezzi, vincitore nel 2004 della medaglia d'oro Blaise Pascal dell'European Academy of Science for Physics and Chemistry, di parlarci del suo lavoro.



Enzo Tiezzi.

L'ecodinamica ha come base la centralità dell'entropia e assegna al tempo un ruolo costruttivo fondamentale. In *Verso una fisica evolutiva* lei cita la frase di Prigogine: «Il tempo è nelle relazioni fra le particelle» Che cos'è dunque il tempo per lei?

Ecodinamica è un neologismo che ho creato proprio parlando con Prigogine, mettendo insieme l'ecologia con la termodinamica: è una disciplina che vuole studiare gli ecosistemi con particolare riferimento alle dinamiche temporali. Quindi in essa il tempo diventa protagonista.

Il tempo ha molto a che fare con le relazioni, che sono le strutture che cambiano con le loro informazioni: esso esiste ovviamente in tutti i sistemi viventi e si manifesta attraverso relazioni che cambiano. Se i miei capelli sono bianchi oggi e non lo erano quando ero un ragazzo è perché si sono stabilite nel tempo delle relazioni con l'ambiente, con le cose che io mangio, con le cellule del mio corpo che cambiano la struttura delle cose. Quindi bisogna vedere il tempo, secondo Prigogine e secondo me, da qui in avanti proprio come una proprietà della materia. Non solo e soltanto lo spazio in funzione del tempo ma il tempo come proprietà intrinseca della materia. Allora ecco che un sistema vivente, una pianta, un uomo, hanno un loro tempo interno che



⬇ Un vortice è una struttura che emerge in un fluido in maniera inaspettata e non prevedibile a partire dalla conoscenza del comportamento delle singole molecole.



ISTOCKPHOTO

LA SCIENZA DELLA COMPLESSITÀ: ALCUNE PAROLE CHIAVE

La scienza dei sistemi complessi interessa diversi campi, dai sistemi laser ai fenomeni atmosferici fino all'evoluzione dei sistemi biologici. In generale, un sistema si dice **complesso** se è costituito da un elevato numero di elementi che interagiscono tra loro, come il cervello umano (il sistema complesso per eccellenza). Per descrivere il comportamento di un tale sistema non basta capire il funzionamento di ogni singola parte, perché il comportamento globale di tutto il sistema ha proprietà diverse da quelle

dei singoli elementi. Così, per capire come funziona il cervello non è sufficiente sapere tutto di un singolo neurone... Per i sistemi complessi vale infatti la famosa osservazione di Blaise Pascal: «L'intero è più della somma delle parti». Una parola chiave fondamentale per i sistemi complessi è **proprietà emergente**, la proprietà che caratterizza quei comportamenti globali di tutto il sistema che "emergono" spontaneamente all'improvviso come novità e che non possono essere previsti. Per esempio: quando finiamo di fare il bagno e apriamo lo scarico dell'acqua, quasi sempre si forma un vortice nella vasca all'altezza dello scarico stesso; il vortice, però, è una forma di organizzazione dell'acqua inimmaginabile sia a livello delle singole molecole sia a livello globale del liquido fermo presente nella vasca prima di aprire il tappo. Ecco perché è così difficile prevedere i vortici nell'atmosfera, come i cicloni, che provocano distruzione e catastrofi. Una seconda parola chiave è **auto-organizzazione** e cioè la capacità del sistema di riorganizzarsi da solo in risposta a uno stimolo esterno. In questo modo, i sistemi riescono a "inventarsi" nuove configurazioni autonomamente e sono cioè in grado di evolversi. I sistemi complessi sono inoltre sistemi aperti, dove per "aperto" si intende un sistema che interagisce con l'ambiente (attraverso scambi di energia, materia e informazione).

caratterizza quell'individuo. Nel vivente questo è fondamentale e si vede benissimo negli alberi d'autunno che perdono le foglie o nelle nuove gemme che emergono a primavera o negli altri esseri viventi che invecchiano perché hanno il tempo dentro di sé.

Può parlarci di alcune applicazioni della fisica evolutiva?

Vi sono applicazioni in molti campi. Un esempio è quello delle reazioni oscillanti o reazioni di Belousov-Zhabotinsky, che danno luogo all'emergere di novità, strutture che prima non c'erano e che improvvisamente appaiono grazie alla proprietà del sistema di auto-organizzarsi. Sono reazioni chimiche che mettono in evidenza i parametri della fisica evolutiva e in particolare la capacità di emergere nel tempo di strutture che prima non erano presenti nel sistema. Le applicazioni più importanti, tuttavia, sono quelle relative agli ecosistemi e alla sostenibilità: il mio gruppo di ricerca, per esempio, si è occupato delle barene, piccole isolette che emergono nella laguna di Venezia. Sono ecosistemi vitali che per emergere hanno bisogno di un po' di sabbia ma anche di un'interruzione, una "interbase", come un tronco d'albero o una piccola palizzata piantata. Con il consorzio Venezia Nuova abbiamo fatto degli esperimenti pubblicati di recente: attorno alle palizzate e sott'acqua si insediano anzitutto dei vegetali, poi questa flora emerge in superficie e

comincia a ospitare alcuni animaletti. Quando tutta la barena emerge in superficie, compaiono i primi nidi di uccelli e così via...

I modelli che il suo gruppo di ricerca ha messo a punto negli ultimi mesi hanno una sigla: Coos. Di che cosa si tratta?

Coos è la famosa isola dove è nato Ippocrate, ma è anche un acronimo per Confined Ontic Open Systems: sistemi aperti "confinati" o "protetti" che potrebbero far pensare a una contraddizione: se il sistema è aperto (quindi scambia energia, materia e informazione con l'ambiente esterno) non può essere protetto; protetto, però, significa che gli scambi ci possono anche essere, solo che il sistema in qualche modo sceglie che cosa tenere e che cosa adoperare. Posso fare due esempi, due metafore: una città rinascimentale con le mura o la stessa laguna di Venezia, che dette luogo alla creazione della città di Venezia perché era la laguna che proteggeva i suoi abitanti. L'aggettivo "ontic" vuol dire che il sistema porta con sé tutta la memoria dell'evoluzione biologica (o culturale o storica). Nel campo della laguna si parla di evoluzione vegetale e animale che c'è stata prima e che porta con sé la sua informazione, la sua ontologia, cioè tutta l'interesse dell'informazione nel tempo. Se questo avviene, questo sistema è in grado di creare qualche cosa di buono, di bello, è in grado di dare luogo a delle nuove nascite in armonia con la storia evolutiva precedente.



IN RETE!

Ilya Prigogine Video in cui il premio Nobel parla della prima rappresentazione storica del rapporto spazio/tempo www.youtube.com/watch?v=xkx0M6WT3mU&feature=related

Entropia a teatro Sito dello spettacolo S=KlogW dedicato al secondo principio della termodinamica <http://entropia.teatrodellelefante.com>



PER APPROFONDIRE

- G. Bocchi e M. Ceruti (a cura di), *La sfida della complessità*, Mondadori, Milano 2007.
- I. Prigogine, I. Stengers, *La nuova alleanza*, Einaudi, Torino 1981.
- G. Zanarini, *Il senso del tempo. La prospettiva temporale della scienza*, "Cultura e scuola", 1993, n. 127, pp. 162-175.



RISORSE

1. A. Einstein, *Opere scelte* (trad. it. di E. Bellone), Bollati Boringhieri, Torino 1988, p. 707.
2. I. Prigogine, *L'esplorazione della complessità in La sfida della complessità* a cura di G. Bocchi e M. Ceruti, Feltrinelli, Milano 1985, p. 183.
3. E. Tiezzi, *Verso una fisica evolutiva. Natura e tempo*, Donzelli, Roma 2006.



FRANCESCA E. MAGNI

laureata in Fisica, insegnante e pubblicitaria. Ha collaborato e collabora con riviste di comunicazione della scienza sia cartacee sia online. Cura il blog *Lineediscienza* <http://lineediscienza.linxedizioni.it>



📍 Immagine di barene nella laguna veneta.

Quando e come è nato questo filone di ricerca? Ci pensava già da bambino come Einstein con la luce oppure è stato un caso?

La risposta certa a questa domanda non esiste. Non c'è dubbio che in tutti i miei studi, dalle scuole medie al liceo, sono sempre stato affascinato dal problema del tempo. Non mi aveva mai convinto il famoso paradosso dei due gemelli di Einstein: lo criticai di fronte al mio professore di fisica in prima liceo! I miei riferimenti sono la scuola filosofica di Mileto, gli scritti di Epicuro e Lucrezio, che fin dalla scuola superiore mi hanno affascinato totalmente.

Quindi è un interesse che viene da lontano, però poi – come sempre – ci sono gli incontri fortunati

e io ne ho avuto uno molto fortunato, conoscendo Prigogine e diventandone allievo. Prigogine mi ha aperto gli occhi su molte cose ed è anche diventato un mio caro amico. C'è un altro punto: sono curioso di queste cose anche perché sono una persona che ha sempre girato nei boschi: fin da piccolo, con mio nonno, a vedere gli animali. E poi c'è la mia frequentazione con gli artisti: ne cito uno per tutti, il grande scultore abruzzese Pietro Cascella, purtroppo scomparso l'anno passato. Gli artisti mi hanno insegnato molto: l'importanza della bellezza nelle cose, per esempio, o del ruolo dei colori nell'evoluzione biologica. 🟢



Un passo in avanti

GIOCHI, INFORMATICA ED EVOLUZIONE

La teoria dell'evoluzione ha influenzato non solo la fisica dei sistemi complessi, ma anche l'informatica, comprese le sue applicazioni più ludiche come i videogiochi.

Avete presente il celebre *Spore*? In questo caso, l'evoluzione c'entra in almeno due sensi. Intanto, perché è proprio il tema del gioco, che simula l'evoluzione a partire dalla nascita di una cellula fino alla conquista dell'intero universo: il giocatore può "gestire" la vita in tutte le sue forme, da quelle monocellulari alle organizzazioni sociali, e seguirla lungo i suoi percorsi evolutivi. L'utente è libero di assemblare le proprie creature e il proprio ambiente, scegliendo fra una grande varietà di strumenti a disposizione; in questo modo, la definizione delle caratteristiche iniziali contribuisce alla sopravvivenza o meno dell'individuo creato. Inoltre, le creature e i mondi inventati da un giocatore sono memorizzati in file di piccole dimensioni che possono essere liberamente scambiati con altri per amplificare le possibili scelte del gioco.

In secondo luogo perché, da un punto di vista informatico, il gioco si basa sulla **procedural generation**, una tecnica che permette di creare mano a mano l'ambientazione, a differenza dei videogiochi tradizionali nei quali questa viene fissata all'inizio dai programmatori. La tecnica sfrutta complessi modelli matematici che si basano su uno degli esempi più significativi dell'applicazione della teoria dell'evoluzione all'informatica: i cosiddetti **algoritmi evolutivi**.

La metafora	
evoluzione	problem solving
ambiente	problema da risolvere
individuo	possibile soluzione
adattamento	qualità della soluzione

 I concetti della teoria dell'evoluzione presi in prestito dall'informatica.

Alla ricerca della soluzione adatta

Algoritmo significa "metodo" e "strategia" per risolvere problemi. Dall'epoca dei computer in avanti, gli algoritmi sono realizzati dai programmi informatici (quelli scritti in Java o in C++ per intenderci). Gli algoritmi evolutivi sono una serie di istruzioni al calcolatore che imitano i meccanismi dell'evoluzione. Che cosa può insegnare l'evoluzione naturale a un informatico che deve inventare un programma per risolvere un problema pratico, come per esempio far allineare due immagini spaziali catturate da satellite? Molto.

Gli algoritmi evolutivi, infatti, sono in grado di determinare la soluzione migliore di un problema tra le tante possibili. Questi programmi basano le loro strategie sul principio darwiniano secondo cui gli elementi più "adatti" hanno maggiore possibilità di sopravvivere e di trasmettere le loro caratteristiche ai successori. In pratica, si considerano le singole soluzioni di un problema come veri e propri individui di una popolazione e si considera il problema da risolvere come se fosse l'ambiente nel quale vive la popolazione (**Tabella**). Quindi chi risulterà più adatto all'ambiente sarà la soluzione finale del problema!

Copiare la genetica

I tipi principali di algoritmi evolutivi hanno nomi suggestivi: algoritmi genetici, programmazione evolutiva, strategie evolutive e programmazione genetica. Vediamo per esempio gli **algoritmi genetici**.

In questi programmi, la soluzione del problema è una semplice sequenza numerica di 0 e 1, suddivisa a sua volta in piccoli gruppi di numeri, detti "cromosomi" e "geni". Ogni soluzione può evolvere, cioè cambiare la propria lista di numeri, seguendo le regole prese in prestito dalla biologia: mutazione, ricombinazione o selezione. Inoltre, ogni soluzione ha una propria capacità di adattamento all'ambiente detta *qualità*. La qualità di ogni soluzione si ottiene dopo opportuni calcoli che utilizzano la cosiddetta "funzione di adattamento" o di fitness. È naturale pensare che meglio funzionerà la funzione di fitness, migliore sarà la qualità delle soluzioni: è dunque a questo livello che interviene l'algoritmo genetico (che, ricordiamoci, è sempre un programma al calcolatore, fatto di dati e istruzioni). Esso cercherà di ottimizzare la funzione di fitness per arrivare a creare la soluzione migliore. *F.E.M.*

IN RETE!

Algoritmi genetici Un ipertesto dal sito di Massimo Brescia, ricercatore dell'Istituto nazionale di astrofisica www.na.astro.it/~brescia/first_page/artificial_intelligence/gas_page/gas_page.html

Spore Video di una lezione sul gioco tenuta da Will Wright in persona www.poptech.org/popcasts/PopCasts.aspx?viewcastid=33



PER APPROFONDIRE

— F. Fabozzi, *Algoritmi genetici in .NET*, Infomedica ed., 2008.

— P. Rondanini, *Esempi applicativi di algoritmi genetici*, Cusl, Milano, 2003.

— A. Tettamanzi, *Algoritmi evolutivi: concetti e applicazioni*, "Mondo digitale", 2005, 1, p. 3-17. Scaricabile da: www.mondodigitale.net/Rivista/05_numero_due/def_Tettamanzi_p_3-17.pdf





Ora tocca a te

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Che cos'è il tempo? Realizza un approfondimento interdisciplinare sull'argomento. Un ottimo punto di partenza è il post *Avere del tempo* del blog *Lineediscienza* (<http://lineediscienza.linxedizioni.it/2008/11/27/avere-del-tempo/>). Vi si trova il link a un ipertesto di Verena Gasperotti, che parte da un racconto giallo di Edgar Allan Poe e continua con altre sezioni dedicate al tempo della natura, della scienza, della coscienza... fino ai viaggi nel tempo.
2. Prepara una presentazione da esporre alla classe in 15 minuti sulla biografia e l'attività scientifica di Ilya Prigogine, premio Nobel per la chimica per il suo contributo teorico alla termodinamica dei sistemi complessi.
3. Prova a elaborare una presentazione sulla storia della termodinamica e in particolare sul concetto di entropia.
4. Se vuoi sperimentare con animazioni interattive le numerose applicazioni degli algoritmi genetici, installa gratuitamente sul tuo computer la piattaforma Java JGAP (Java Genetic Algorithms Package): <http://jgap.sourceforge.net>. Buon lavoro!

SCRIVERE DI SCIENZA

I ricercatori studiano i sistemi complessi anche con l'aiuto di simulazioni al computer. Esiste quindi una branca dell'informatica che si occupa di creare programmi sempre più adatti per il tipo di sistema che si vuole analizzare.

Per quanto riguarda l'evoluzione, oltre agli algoritmi evolutivi, ci sono molte altre tecniche che si possono ricondurre a questo concetto. Alcuni esempi sono le reti neurali, la vita artificiale o gli automi cellulari. A proposito di questi ultimi, un automa diventato ormai famoso nell'ambiente è il *Gioco della vita* (*Game of life*) ideato da John Conway. Il gioco si svolge su una scacchiera dove i quadratini "vivi" sono colorati e quelli "morti" sono vuoti; i quadratini possono nascere e morire seguendo semplici regole di evoluzione.

Dopo una ricerca in biblioteca o su Internet, prova a scrivere un articolo sul Gioco della vita. Per cominciare, puoi guardare la pagina di Wikipedia (http://it.wikipedia.org/wiki/Gioco_Life_di_Conway) e quella *Game of life*, in inglese (<http://www.bitstorm.org/gameoflife/>): entrambe contengono utili animazioni per capire con una semplice occhiata come funziona il gioco.



FOTOLIA

SEMPRE PIÙ eBOOK

Il fenomeno dei libri digitali è ormai esploso negli Stati Uniti e comincia a muovere i primi passi anche da noi: ecco una panoramica dei “fermenti” di questo nuovo mondo e l'identikit di chi preferisce leggere in formato elettronico.

TIZIANA MORICONI



Altro che *rumors*. Per dieci anni sono stati dietro l'angolo, lì lì per arrivare, e ora eccoli davvero.

Dopo la falsa partenza dei primi anni del 2000, sembra proprio che editori e lettori si stiano finalmente convertendo agli *ebook*, i libri digitali. Il fenomeno ha ancora un volto americano, e probabilmente “convertire” non è il verbo giusto, perché i sempre più numerosi fan del tascabile elettronico continuano comunque ad acquistare libri cartacei in parallelo. Senza dubbio, però, quello a cui sta andando incontro l'editoria appare come un cambiamento colossale. Chi lo dice? Al BookExpo, la grande fiera del libro di New York che si è svolta lo scorso maggio, la parola *e-publishing* è stata sulla bocca di oltre 15 000 persone tra editori e venditori, e a quella di Hong Kong, poche settimane dopo, gli *ebook* hanno fatto la loro prima comparsa nell'area multimedia.

Niente crisi per i libri online

Altri numeri danno ragione al grande fermento: secondo i dati dell'Association of American Publishers, nel primo trimestre del 2009 le vendite degli *ebook* hanno



NOTIZIE DIGITALI

Ovviamente non solo libri, anzi. La possibilità di scaricare ogni mattina il quotidiano nel proprio dispositivo e-reader è un'attrattiva forte, che sta guidando il mercato di questi dispositivi. "New York Times", "Washington Post", "Boston Globe" sono già per il nuovo Kindle DX della Amazon, mentre la Plastic Logic fa accordi con il "Financial Times", "Usa Today" e alcuni aggregatori di contenuti (in cui è possibile trovare anche riviste, libri, musica...) come Ingram Digital e Zinio. Intanto, i quotidiani della Digital Publishing Alliance (Dpa, alla quale aderiscono "New York Times", "Los Angeles Times", "Washington Post" e la Newspaper Association of America) stanno studiando la possibilità di creare un consorzio e stabilire standard comuni per tutti gli editori di giornali. La Dpa ha anche "aperto" un negozio online in cui è possibile comprare le grandi inchieste. Anche in Italia qualcuno sperimenta. Il nuovo iLiad della iRex, per esempio, può essere venduto con abbonamento a "La Stampa" (e tre mesi in regalo), il primo quotidiano ad aver accettato la sfida. L'accordo è partito la scorsa primavera e ci si può abbonare per uno, tre, sei o dodici mesi. Sembra ancora esserci, però, qualche problema di connessione con le reti Wi-Fi.



ISTOCKPHOTO

rappresentato l'1,6% dell'incasso dell'editoria, quando solo due anni fa coprivano appena lo 0,2%. Ancora più indicativo, l'editoria digitale è l'unico settore dell'industria del libro che ha mostrato un'impennata nel bel mezzo della bufera finanziaria, crescendo del 130%. Il giro d'affari statunitense per gli ebook è stato di 16,8 milioni di dollari nell'ultimo trimestre 2008, saliti a 25,8 milioni nel primo del 2009. Trend simile per le vendite degli *ebook reader*, i lettori portatili: i produttori cominciano a moltiplicarsi e a moltiplicare l'offerta, sfornando dispositivi sempre più leggeri e accattivanti, in grado di trasportare dovunque si voglia una libreria intera.

Dai libri "dinamici"...

Ma che cos'è esattamente un ebook? La parola è di origine anglosassone: deriva dalla contrazione di "electronic" e "book" e il suo significato letterale è "libro elettronico". Sembra che l'idea di poter leggere libri all'interno di un dispositivo elettronico sia antica quanto quella del computer portatile (o laptop) stesso. Ad averla pensata, nel 1968, sarebbe stato Alan Curtis Kay, matematico e biologo

molecolare, nonché informatico geniale, che tentò di svilupparla nei primi anni settanta, quando era ricercatore presso il Parc (Xerox Palo Alto Research Center, in California). Quello che aveva in mente Kay era un libro interattivo e "dinamico" (da cui il nome Dynabook, poi ripreso dalla Toshiba per una linea di mini-Pc).

... ai libri in rete

Ma la vera data di nascita degli ebook per molti coincide con l'inizio del Progetto Gutenberg. Era il 1971 quando Michael Hart ricevette dall'Università dell'Illinois una borsa di studio per lavorare nel laboratorio di informatica. Hart decise di dedicarsi a una delle "capacità" fondamentali dei computer: immagazzinare contenuti e renderli immediatamente accessibili a chiunque. Il principio per cui «qualsiasi cosa entri in un computer può essere riprodotta all'infinito» è alla base del suo progetto, che poco dopo venne battezzato Gutenberg, in onore della omonima Bibbia, il primo volume della storia stampato con il sistema dei caratteri mobili dal tipografo tedesco Johann Gutenberg, tra il 1450 e il 1456. Due ore dopo aver ricevuto l'incarico, Hart aveva già digitato la Dichiarazione di

QUANDO L'INCHIOSTRO NON MACCHIA

Tra le innovazioni tecnologiche che hanno dato nuovo impulso al mercato degli e-reader e degli ebook vi è senza dubbio quella dell'inchiostro elettronico che non emette la luce, ma la riflette. L'E-Ink, nato nei laboratori del Mit (Massachusetts Institute of Technology) di Boston, offre per la prima volta una "lettura digitale" confortevole che non affatica la vista. Tutti (o quasi) gli ultimi e-reader hanno ormai abbandonato gli schermi a cristalli liquidi. La prima società ad aver investito sull'E-Ink è stata la Philips, che poi ha rilasciato il brevetto alla P.V.I. di Taiwan, oggi produttrice della maggior parte degli schermi per l'inchiostro elettronico.

E A SCUOLA?

Difficile fare pronostici sulla diffusione di ebook ed e-reader anche a scuola, benché a febbraio il ministro Mariastella Gelmini abbia auspicato l'uso degli ebook: d'ora in poi dovremmo poter scaricare i testi scolastici anche in formato elettronico. Lo riporta la stessa circolare ministeriale con cui si chiede agli insegnanti di non cambiare i libri di testo in adozione per almeno cinque anni nelle scuole primarie e per sei in quelle secondarie. L'idea è che almeno gli aggiornamenti e i contenuti extra siano digitalizzati e messi online. Per ora in giro c'è poco, ma i principali editori della scolastica si stanno attrezzando per gestire la transizione al digitale. Negli Usa, intanto, il governatore Arnold Schwarzenegger propone l'uso dei testi digitali dal 2010 per tutti gli istituti superiori della California, mentre il Democratic Leadership Council lancia l'iniziativa *Un Kindle in ogni zaino*.

indipendenza sulla tastiera e l'aveva spedita ai computer connessi al suo: ne aveva cioè diffuso la versione digitale attraverso un network. Alla Bibbia seguirono alcuni grandi classici fuori copyright, da Shakespeare a Mark Twain. Nel 1987 Hart aveva digitalizzato 313 libri. Allora il Web non c'era ancora, ma è facile immaginare quello che accadde con la diffusione di Internet negli anni novanta. Il Progetto Gutenberg, che si basa sul lavoro di migliaia di volontari in tutto il mondo, conta oggi oltre centomila volumi in versione pdf, di cui circa 30.000 titoli gratuiti (www.gutenberg.org).

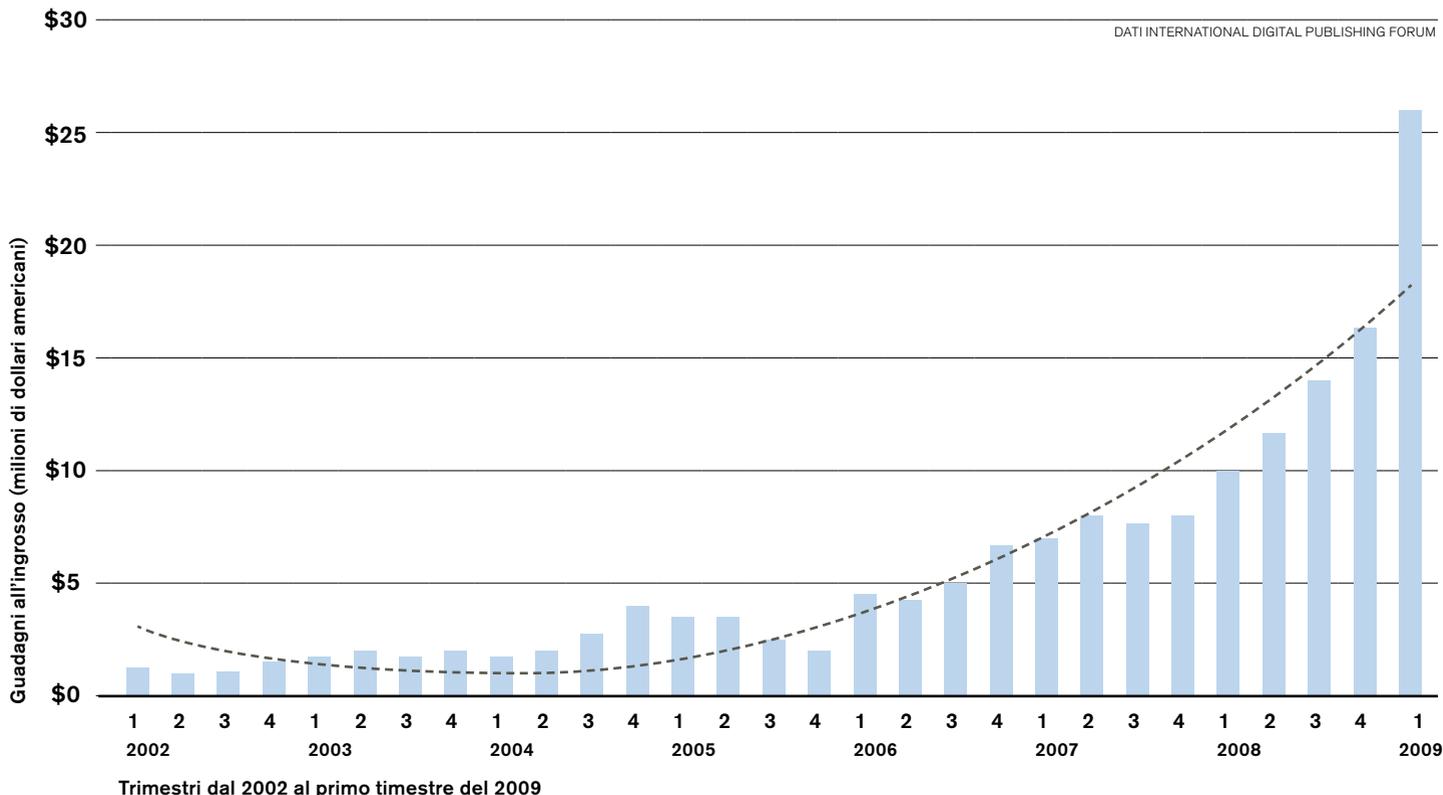
Cellulari da... lettura

L'obiettivo è sempre quello di rendere accessibile il maggior numero di libri possibile a quante più persone possibile. Ultima mossa in questa direzione è stata, lo scorso dicembre, la creazione di un software – il PG Mobile – che permette di portare tutti gli ebook in archivio anche sul cellulare.

Non è l'unico programma che lo consente e i titoli per dispositivi portatili (come iPhone e iPod) si contano a milioni. Sebbene sia la prima, l'esperienza del



LA CRESCITA VERTIGINOSA DEGLI EBOOK SUL MERCATO STATUNITENSE



Progetto Gutenberg non è certo rimasta isolata: **www.archive.org** contiene 1,5 milioni di altre opere (quelle del Million Book Project, in venti lingue diverse), mezzo milione si trova in **www.worldpubliclibrary.org**, 130 000 in **www.ebooksabouteverything.com**, tanto per citare qualche biblioteca online. Un'iniziativa simile ce l'abbiamo anche nel Vecchio continente: si chiama Europeana ed è la prima biblioteca digitale europea, inaugurata lo scorso 20 novembre, che dà accesso a oltre due milioni di fonti provenienti dal patrimonio culturale dei diversi stati membri dell'Unione europea, tra film, collezioni d'arte, libri, manoscritti, musiche, giornali.

Google all'attacco

Certamente, anche nel mondo delle Web library c'è chi punta a fare soldi e un nome tra tutti è Google Book Search. Partita alla fine del 2003, l'iniziativa punta a digitalizzare e indicizzare online qualsiasi cosa, con e senza copyright. Per ora siamo già a oltre sette milioni di

volumi, anche fuori catalogo, di cui circa un milione e mezzo scaricabile su iPhone. Da giugno sono anche aumentate le funzioni del sito: pulsante "sfogliapagina", nuove anteprime grafiche dei titoli, *preview* delle pagine che contengono la chiave di ricerca, menù per navigare tra i capitoli, schermate riassuntive con titolo, recensioni, statistiche, link. Ora è persino possibile inserire libri interi o creare collegamenti ai titoli in qualsiasi blog e pagina Web. Google è senza dubbio l'azienda che più sta spingendo il mercato dell'e-publishing. Di recente è stata anche avviata una partnership con la Sony, per cui 500 000 nuovi titoli digitalizzati da Google saranno disponibili gratuitamente e in esclusiva sugli e-reader del gigante elettronico.

Il punto di vista degli editori

Altri accordi sono già stiliti con diverse case editrici e autori, compresi quelli dell'associazione Authors Guild e degli editori americani AAP, che tre anni fa

avevano tentato una causa contro Google, denunciando un'evidente violazione del diritto d'autore. Qualche mese fa la causa è stata chiusa con il raggiungimento di un accordo extragiudiziale che Google definisce «senza precedenti»: l'azienda è pronta a sborsare 125 milioni di dollari in pubblicità per gli editori e gli autori, che sembrano aver aperto gli occhi sulle nuove opportunità.

Anche gli italiani Sironi editore e Delta 3 hanno accordi con Google: «Ogni nuovo libro viene passato a Google Book Italia, che ne pubblica il 20% online. Gli editori hanno paura di condividere i libri in questo modo ma, stando alle esperienze oltreoceano, sembra che a vendere di più nella versione cartacea siano proprio i libri completamente disponibili in rete», spiega Martha Fabbri, curatrice della collana di divulgazione scientifica Galápagos presso Sironi editore. Il rischio, però, è che possa finire come con la musica, scaricata e passata illegalmente. «Non so se accadrà»,



continua Fabbri, «ma se c'è questo pericolo è perché gli editori non hanno l'atteggiamento giusto, come non lo hanno avuto le case discografiche. Che, infatti, non hanno inventato iTunes, il programma che gestisce tanto l'ascolto quanto la ricerca e l'acquisto di contenuti musicali online, in modo completamente legale. Certo, c'è qualcuno che scarica illegalmente, ma i segnali sono diversi: ci sono perfino esempi di libri nati online, dai blog». È il caso di *Real World Haskell*, un libro di informatica dell'editore O'Reilly in cui, nella versione cartacea andata a ruba, sono stati riportati anche gli oltre 7000 commenti che i lettori avevano lasciato in vari post online.

Metti in vendita il tuo libro

Tra le case editrici più agguerrite su questo nuovo fronte ci sono le statunitensi HarperCollins e Random House. Entrambe permettono agli utenti di scaricare i *widget*, mini applicazioni da trasportare sulle proprie pagine web per facilitare la ricerca diretta di titoli e autori. Queste applicazioni consentono di leggere alcune pagine (in alcuni casi tutte) del libro in questione e, ovviamente, di acquistarlo.

Di questo mondo digitale fa parte anche Scribd, una sorta di social network che dal 2007 permette ai suoi 60 milioni di utenti di pubblicare quello che vogliono, dalle poesie alle ricette di cucina; tutto consultabile, a volte scaricabile (lo scorso aprile, la scrittrice JK Rowling si era molto arrabbiata per avervi scovato alcune pagine dei suoi *Harry Potter*). Dal 18 maggio – ma solo per chi vive in Usa – Scribd è anche un negozio online in cui chiunque può mettere in vendita il suo testo decidendo prezzo e modalità di distribuzione. L'idea è di fare concorrenza niente meno che ad Amazon, uno dei più noti punti vendita virtuali di ebook.

Identikit del lettore

Ma li chi compra, questi ebook? Secondo la stessa Amazon, negli Usa gli acquirenti sono i lettori forti, quelli che divorano un libro a settimana. E chi li acquista continua a uscire dalle librerie con lo stesso numero di sacchetti. E l'Italia? Da Editech 2009, la conferenza dell'editoria e dell'innovazione tecnologica, sono uscite notizie deludenti per chi sta puntando sugli e-reader nel nostro paese. «Per usare un eufemismo, il fenomeno da queste parti è ancora

ALLA RISCOSSA, MA CON QUALCHE LIMITE

Non sono solo luci per gli ebook, ma anche qualche ombra. Le spiega a "Linx Magazine" Cristina Mussinelli, consulente dell'area editoria digitale dell'Associazione editori italiani (Aie).

Pensa che gli ebook rispondano a una domanda del mercato?

Sì, ma personalmente non credo in un futuro in cui gireremo tutti con l'e-reader in tasca, e non solo per un problema di nostalgia per la carta stampata. I potenziali acquirenti sono di due tipi: gli "eclettici" e i "technofan", quelli che rincorrono sempre l'ultimo modello di qualsiasi cosa. I technofan sfruttano i dispositivi solo per quello per cui sono stati creati – e a volte neanche completamente – e non sono grandi "consumatori di contenuti", neanche di libri, cartacei o digitali che siano. Gli altri, ben rappresentati dai protagonisti del Web 2.0, utilizzano gli oggetti tecnologici in modo innovativo anche per accedere ai contenuti e ne sfruttano appieno tutte le potenzialità.

Quali titoli interessano agli "eclettici"?

Sia i nuovi sia quelli fuori catalogo, difficili da trovare nella versione cartacea, perché non lasciano grandi margini di guadagno. Più che agli e-reader, però, credo che questa fascia di lettori sia interessata ai nuovi dispositivi integrati, sempre più portatili, piccoli, leggeri e multifunzionali, come l'iPhone. Se poi ci si può anche leggere un libro, perché no?

Che cos'altro ritarda il boom degli ebook?

La mancanza di un formato standard: finché non c'è, il mercato non decolla, come succede per qualsiasi prodotto tecnologico innovativo. Ogni e-reader, oggi, richiede il rispetto di specifiche tecniche diverse. Per esempio, produrre contenuti per la Sony significa che le immagini non devono essere più grandi di 10 megabyte e i file di ciascun capitolo non devono pesare più di 300 kilobite. Inoltre, servono nuove competenze in grado di utilizzare i software di conversione e il linguaggio XML, che da qualche anno viene usato per la digitalizzazione. Esiste poi un problema specifico dell'Italia: il 50 per cento della popolazione non ha ancora una connessione a Internet.

decisamente contenuto», commenta Fabbri: «Le nostre case editrici non sono pronte, ma è vero che i gli e-reader costano ancora molto (dai 280 euro in su, ndr) e non dimentichiamoci che l'Italia è uno dei paesi che meno compra online. Anche questo è un trend che sta per cambiare, però. Sul sito dell'Associazione editori italiani (Aie) ci sono i dati sulle vendite online del 2007: il 6% del totale, ma la crescita è esponenziale».

Fermento americano

Negli Stati Uniti, intanto, l'offerta cresce: si stipulano contratti tra scrittori sulla cresta dell'onda e produttori di e-reader, come è stato per l'edizione limitata dei lettori della Sony venduti con tre libri gratuiti della scrittrice Danielle Steel. Anche la Barnes&Noble, catena di mega librerie, ha messo il piede nel settore dei libri digitali acquistando **Fictionwise.com**, editore indipendente di ebook. Amazon, dal canto suo, ha appena depositato due brevetti per offrire libri scontati se si accettano i messaggi

pubblicitari. Il suo lettore per ebook, Kindle, offre anche la connessione gratuita per collegarsi ad Amazon e Wikipedia. Anche la Apple ha una sezione per gli ebook, scaricabili direttamente sull'iPhone 3G. Insomma, questa volta sembra che gli ebook abbiano davvero svoltato l'angolo. ➔



TIZIANA MORICONI

giornalista, scrive di tecnologia per "L'Espresso", "Nova" e "Wired Italia". Cura inoltre la sezione news del magazine online "Galileo", giornale di scienza e problemi globali.

STUDIARE LA LUCE QUANDO È FERMA

Un esperimento di un secolo fa e alcune semplici analogie permettono di affrontare certi comportamenti della luce in modo più facile e coinvolgente.

■ ■ ■ ■ ■ ENRICO PERGHEM

Immaginare la luce come un insieme di onde che si propagano, e che oltretutto corrispondono a misteriose entità quali *campo elettrico* e *campo magnetico*, non è cosa semplice. Una stanza bene illuminata non oscilla affatto, non dà la scossa e non sposta oggetti metallici.

Ciò che occorre anzitutto tenere presente è che una spiegazione totalmente esauriente dell'argomento non si può dare. Non solo per la sua estensione, ma anche per l'inevitabile sconfinamento nella meccanica quantistica (basti pensare, solo per fare alcuni esempi, al dualismo onda-particella o al principio di complementarità). Allora, a parte le teorie matematiche alla base di questi fenomeni, dove si possono trovare degli appigli per non lasciare perplesso, o addirittura sconcertato, chi si stia avvicinando allo studio dei fenomeni ottici?

Un aiuto dal passato

Alcune possibilità vengono offerte dalla trattazione, anche non approfondita, di un esperimento di oltre cento anni fa, svolto nel periodo in cui la teoria dell'elettromagnetismo di James Clerk Maxwell stava ricevendo fondamentali conferme, principalmente a opera di Heinrich Rudolph Hertz. Un conterraneo di Hertz, il tedesco Otto Wiener (1862-1927) realizzò, intorno al 1890, un apparato in grado di provare che la luce si comporta allo stesso modo delle onde elettromagnetiche generate da circuiti. In

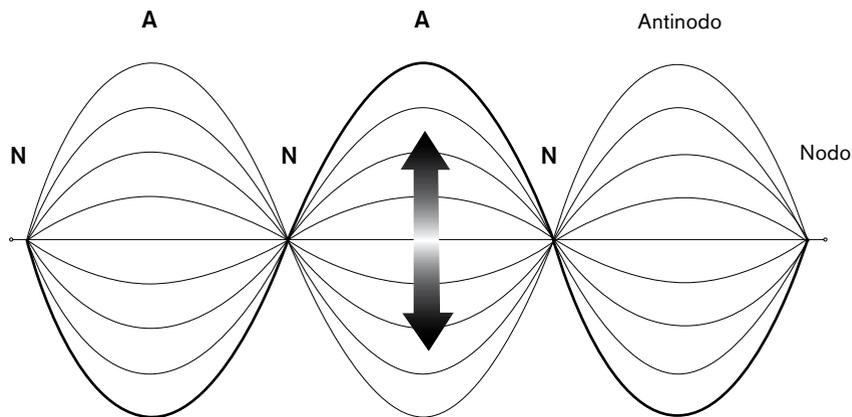
particolare, dimostrò l'esistenza delle *onde di luce stazionarie*. Riesaminare in classe il suo esperimento può condurre a considerazioni interessanti. Prima di arrivarci, però, occorre chiarire che cosa sia un'onda stazionaria.

Onda su onda...

Questo risulta più immediato se ci si sofferma sull'esempio della figura creata da una corda vibrante. Grazie alla comune forma dell'equazione d'onda sia per una corda sia per la luce, si può essere persuasi della legittimità di

questo parallelismo; ma qui, dicevamo, la matematica non conta.

Immaginiamo una corda fissata a due estremi e messa in vibrazione. Dopo una fase transitoria, nella corda in vibrazione si sovrappongono, punto per punto, due "movimenti". Occorre immaginare una certa simultaneità negli eventi i quali, appunto, si sovrappongono. Un primo movimento è quello che si verifica spostando la corda verso l'alto o verso il basso (lungo un asse perpendicolare alla corda, insomma), per esempio pizzicandola come nel caso di una chitarra. Poiché la corda tenta di tornare nella posizione iniziale, questo spostamento si propaga, sino a che, giunto a un estremo, torna indietro (secondo movimento). Intanto, però, la corda possiede ancora il primo movimento, per inerzia; allora, lo spostamento che "ritorna" si sovrappone a quello che "arriva", e similmente accade per l'altro estremo. Si tratta, in definitiva, di due onde uguali che si propagano lungo la corda in sensi opposti. Sovrapponendosi, esse possono produrre un'interferenza distruttiva, fino ad annullarsi, oppure costruttiva, fino a raggiungere un'ampiezza massima. Le due onde hanno caratteristiche (periodo, lunghezza d'onda...) identiche, e si sovrappongono in un modo ben determinato, per via della loro uguaglianza e degli estremi della corda fissati, cosicché i punti in cui si annullano sono sempre gli stessi e di conseguenza



➡ **Profilo (forma) dell'onda a vari istanti: in corrispondenza dei nodi è sempre nullo, altrove oscilla, fino a raggiungere la massima ampiezza agli antinodi.**



risultano stabiliti anche quelli in cui l'ampiezza può risultare massima. La *forma d'onda* che si ottiene, cioè l'onda risultante, non si propaga: si è ottenuta un'onda stazionaria!

In un caso del genere, è soltanto il "profilo" dell'onda stazionaria risultante a muoversi, oscillando su e giù in alcuni punti. I punti in cui il "movimento del profilo" non avviene affatto sono detti *nodi*, quelli in cui avviene massimamente si chiamano *antinodi* (o ventri) dell'onda. Nel caso di due corde identiche per fattura e lunghezza, nodi e antinodi si troveranno sempre alle stesse distanze.

Who'll stop the light?

Nell'esperimento di Wiener, un fascio di luce monocromatica incide perpendicolarmente su uno specchio piano. Per la presenza dello specchio, ovviamente, deve esserci una riflessione. Allora la luce riflessa si trova via via a interferire con quella in arrivo, seguendo il principio di sovrapposizione comune alle onde meccaniche (alle "corde"). Come in una sorta di braccio di ferro alla pari si genera dunque un'onda luminosa stazionaria. Anche in questo caso, come in quello della corda fissata vibrante, non vi è più una vera propagazione, bensì un alzarsi e un abbassarsi, in alcuni punti precisi, del profilo dell'onda. E anche in questo caso si riscontrano nel profilo dell'onda nodi e antinodi. Se le onde luminose che si fanno incidere perpendicolarmente su uno specchio

LA LUCE DA NEWTON A EINSTEIN

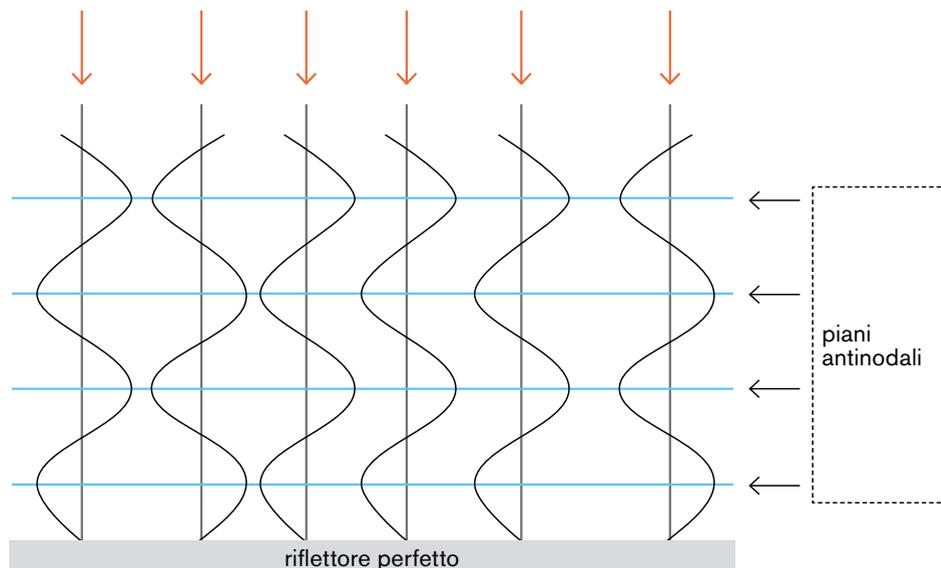
Nel corso dell'Ottocento aveva ripreso vigore l'interpretazione ondulatoria della luce, che l'autorevolezza di Isaac Newton, convinto sostenitore della teoria corpuscolare, aveva molto sminuito. Thomas Young e Augustin-Jean Fresnel, agli inizi del secolo, furono i principali artefici di questa rinascita: la luce veniva vista come un'oscillazione di un mezzo onnipresente, anche nel vuoto, e dalle caratteristiche peculiari: l'etere. Era un'impostazione meccanico-elastica. Dopo il 1860 Maxwell elaborò e completò la propria rivoluzionaria teoria elettromagnetica, che accostava la luce ai fenomeni elettrici: essa doveva essere una radiazione elettromagnetica, cioè un campo elettrico e un campo magnetico associati che si propagano alla velocità della luce, sempre per mezzo dell'etere. La teoria elettromagnetica di Maxwell era però tutta da dimostrare. Questo fu fatto principalmente da Hertz, negli anni subito precedenti al 1890: particolari circuiti elettrici emettevano onde elettromagnetiche, e queste si comportavano come la teoria maxwelliana prevedeva, propagandosi, diffrangendosi, riflettendosi. Le onde di Hertz erano però di "grandi" dimensioni, della lunghezza caratteristica di qualche metro: oggi si classificano come onde radio. La luce, per le sue dimensioni molto ridotte, non era ancora stata affrontata in un esperimento. Otto Wiener riuscì in questo tentativo.

Sino ai primi del Novecento luce e onde saranno intese come perturbazioni dell'etere, cioè come sue vibrazioni. Tuttavia, la "crisi" dell'etere era cominciata già nel 1887, con il noto esperimento di Michelson e Morley, anche se sarà solo dopo il 1905, cioè dopo la prima pubblicazione di Albert Einstein sulla relatività ristretta, che questo concetto verrà gradualmente abbandonato.

hanno la stessa lunghezza d'onda (se si tratta, cioè, di luce monocromatica), i nodi e gli antinodi si troveranno alle stesse distanze per tutti questi treni d'onda. Così, parallelamente allo specchio, a una certa distanza si avrà per esempio un "movimento del profilo" massimo ovunque e a un'altra distanza opportuna non se ne avrà alcuno: come tante corde uguali messe l'una accanto all'altra. I piani paralleli allo specchio su cui giacciono gli antinodi vengono detti *piani antinodali*. Nodi e antinodi sono strettamente legati

alla lunghezza d'onda della luce impiegata. In particolare, un nodo dista da un nodo successivo una semilunghezza d'onda, e lo stesso vale per la distanza fra due antinodi. Nodi e antinodi sono alternati tanto da distare l'un l'altro un quarto di lunghezza d'onda. Comincia a delinearsi una situazione interessante: la luce, velocissima e imprevedibile, pare ora restare ferma a farsi analizzare. Se ci fosse un modo per "scorgere" questi nodi o questi antinodi si potrebbe "vedere" la lunghezza d'onda della luce!

➔ **Rappresentazione schematica di onde stazionarie, i cui antinodi giacciono tutti su piani paralleli allo specchio che le forma.**

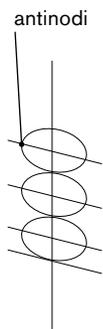




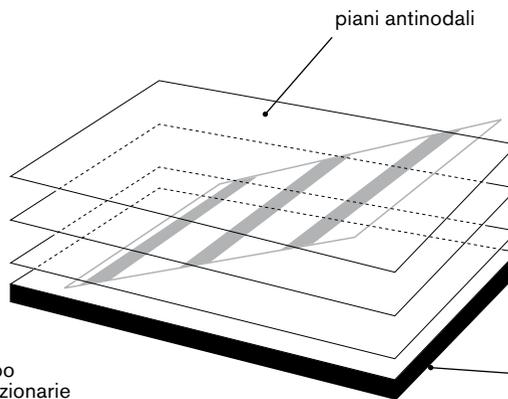
L'esperimento di Wiener

Otto Wiener ebbe l'idea di utilizzare una specialissima pellicola fotografica, che fosse estremamente sottile (20 nm), perfettamente trasparente, eppure sensibile alla luce. Pellicole con queste caratteristiche, costituite da una sostanza detta collodio cloruro d'argento, erano disponibili grazie agli enormi progressi della chimica in Europa e in particolare in Germania.

Wiener pensava che in prossimità degli antinodi, dove il "movimento" del profilo era notevole, ci sarebbe stata un'impressione sulla pellicola. Ai nodi, dove questo "movimento" non c'è, la pellicola sarebbe dovuta rimanere immutata. Bisogna a questo punto pensare all'ordine di grandezza della lunghezza d'onda della luce, cioè dello spettro visibile: circa 500 nanometri, 400 per quella violetta che Wiener utilizzava. Questo significa che, ponendo la pellicola in mezzo a quei "movimenti", a quei piani antinodali, perpendicolarmente allo specchio, si sarebbero eventualmente ottenute circa 5000 righe per millimetro: un'immagine indecifrabile, inutile. Per questo, Wiener decise di inclinare la pellicola: mano a mano che l'inclinazione aumenta, infatti, le righe impressionate sulla pellicola si distanziano e per inclinazioni piccolissime si possono quasi vedere a occhio nudo.



andamento-tipo delle onde stazionarie



↳ Rappresentazione schematica dell'esperimento di Wiener; in realtà, la pellicola era quasi parallela allo specchio.

Luce come onda

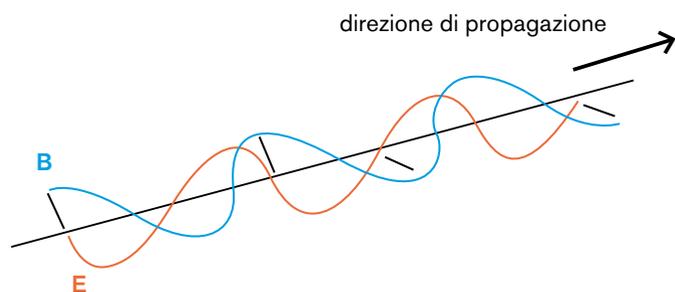
Per stessa ammissione di Wiener, il suo esperimento non aveva propositi quantitativi. A quasi un secolo dalle esperienze di Young e a circa settant'anni da quelle di Fresnel, però, grazie a questo esperimento si poteva riconoscere definitivamente la natura ondulatoria della luce. E per quanto riguardava quella elettromagnetica? Dalle equazioni di Maxwell, riscritte nella forma odierna da Hertz, sappiamo che i campi elettrico e magnetico oscillano, in direzioni perpendicolari sia tra loro sia rispetto alla direzione di propagazione della luce. Ecco dunque che, quando si parla della natura ondulatoria della luce, si fa

indirettamente riferimento alle oscillazioni di questi due campi.

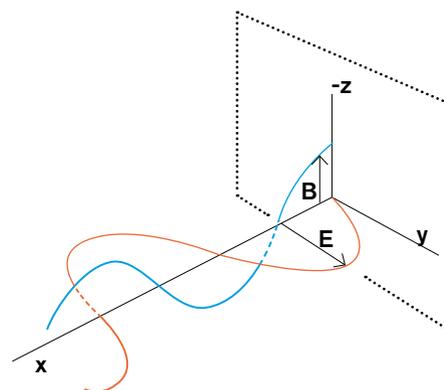
Ma come si inseriscono questi campi nei concetti che abbiamo delineato in precedenza, parlando di corde, specchi, sovrapposizione? Che cosa fanno? Sono loro la "luce", almeno quella visibile?

Specchi e campi

Si è detto che campo elettrico e campo magnetico viaggiano accoppiati, *in fase*. Mentre si propagano, i massimi dell'uno corrispondono ai massimi dell'altro, e lo stesso vale per i minimi. Se tali posizioni reciproche rimanessero sempre così sarebbe molto difficile capire quale ruolo abbia ciascuno dei due nell'ambito del



↳ I campi elettrico (E) e magnetico (B) oscillano perpendicolarmente sia alla direzione di propagazione sia fra di loro.



↳ In un'onda luminosa stazionaria, i campi elettrico (E) e magnetico (B) risultano sfasati.



DENTRO AL FENOMENO

Ciò che accade nell'impressione di una pellicola è un fenomeno di ionizzazione. L'argento, presente in forma di sale in molte pellicole fotografiche, è infatti molto sensibile a questo processo ove, per la sua natura elettronica, è soggetto alla perdita di un elettrone e , portando a un annerimento della pellicola. Come può avvenire questa sorta di trasformazione? Il ragionamento si basa sulla forza di Lorentz che agisce su quell'elettrone, in modulo: $F_L = eE + evB$, ricordando $B_E = E/c$. La forza elettrica è $F_E = eE$, quella magnetica $F_M = evB = evE/c$. Il rapporto risulta: $F_M/F_E = v/c$. La forza dovuta al campo magnetico è debole per velocità non comparabili a quella della luce. In effetti gli elettroni di valenza coinvolti non hanno velocità vicine a quelle della luce, quindi possiamo essere persuasi che solo il campo elettrico possa di fatto agire in processi fotochimici. Si potrebbe poi aggiungere l'impossibilità del campo magnetico di compiere lavoro.

fenomeno luce. E lo stesso accadrebbe se essi influissero allo stesso modo sull'ambiente circostante.

Le loro interazioni con la materia, però, sono in genere diverse. Ecco dunque che quando l'onda di luce incide sullo specchio, i due campi si comportano in modo diverso nella riflessione. Tanto più un riflettore è perfetto, tanto più sarà anche un conduttore perfetto. Da questo fatto si stabilisce che il campo elettrico sia nullo sulla superficie dello specchio, dove avrà un nodo. Al contrario, lì il campo magnetico avrà un antinodo. In un'onda stazionaria, perciò, i due campi risultano sfasati: il massimo di uno non corrisponde più al massimo dell'altro.

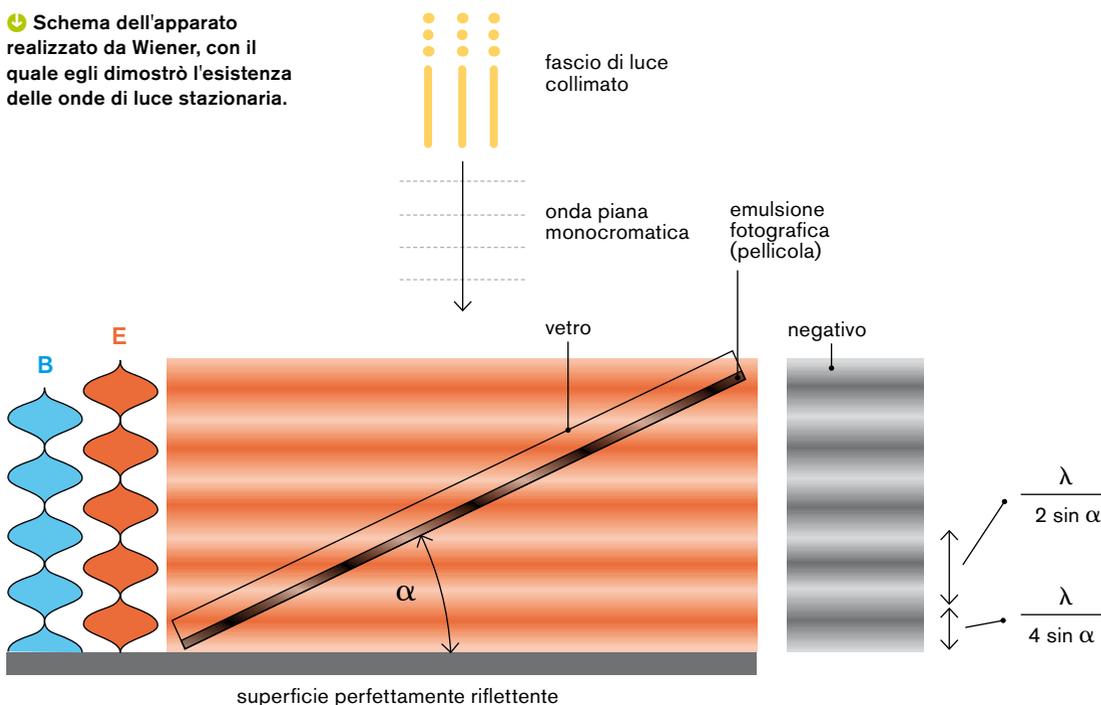
Anzi, grazie al particolare cambio di fase si ha che a un massimo del campo elettrico corrisponde un minimo del campo magnetico.

Per vedere ci vuole campo... elettrico

Con queste nuove informazioni, ritorniamo alle righe impresse sulla pellicola. Adesso abbiamo dei punti di riferimento per orientarci, per leggere in modo corretto quelle righe. Vedremo che vicino allo specchio non abbiamo alcuna riga, mentre subito dopo si (a distanze non certo casuali). Allora, ciò che prima abbiamo identificato come segni lasciati dagli antinodi della luce sono da attribuire all'azione del campo elettrico,

o meglio dei suoi antinodi. Quando, nel 1890, Wiener ottenne risultati di questo tipo, li interpretò a sostegno degli esperimenti di Hertz sulle onde radio. Egli era comunque conscio del fatto che la spiegazione di questi fenomeni fosse ancora lacunosa (l'equazione della forza di Lorentz, per esempio, è del 1892). Dall'analisi della disposizione delle righe sulla pellicola scaturisce dunque una conclusione molto importante: gli effetti fotochimici, anche senza una situazione di onde stazionarie, che serve solo per non "mischiare" gli effetti dei due campi, sono prodotti dal campo elettrico. In altre parole: quando la luce innesca un processo chimico, esso è attribuibile al campo elettrico. Accade per esempio con la fotosintesi o anche con la nostra vista: l'uomo, all'interno dello spettro visibile, vede il campo elettrico. Un'impostazione come quella mostrata qui permette di collegare onde, luce e teoria elettromagnetica, evitando una frammentarietà spesso presente in questi argomenti di fisica. Il contesto storico avvalorava il percorso, anche concettuale, che ha permesso lo studio e la comprensione dei fenomeni esposti da parte di grandi scienziati del passato. ➔

👉 **Schema dell'apparato realizzato da Wiener, con il quale egli dimostrò l'esistenza delle onde di luce stazionaria.**



ENRICO PERGHEM

dopo aver conseguito la maturità classica, si è laureato in fisica presso l'Università cattolica del Sacro Cuore di Brescia, con una tesi in storia della fisica.

📌 Per proporre esperienze, progetti, attività: linxedizioni.it/contatti



ISTOCK/PHOTO

Buon viaggio Mr Darwin!

In un progetto nato per caso, Google Earth e gli strumenti del Web 2.0 hanno permesso a ragazzi e docenti di “rivivere” il percorso compiuto dal padre della teoria dell’evoluzione dall’Inghilterra alle Galápagos.

A volte, le idee nascono in modo del tutto casuale. Magari passeggiando per un mercatino di *brocantage*, imbattendosi in una bancarella di libri e finendo con il trovarsi tra le mani *In viaggio con Darwin 2* di Luca Novelli (Fabbri, 2007). L'estate (del 2008) è vicina, finalmente si può dedicare tempo alla lettura e quando si legge un libro come questo, anche la mente comincia a viaggiare. Poi, ci si ricorda che sta per arrivare il bicentenario della nascita di Mr Darwin e che si deve festeggiare, perché in una data così importante per la storia dell'uomo bisogna esserci per forza! E allora, ecco la domanda: possiamo rifare in modo virtuale il viaggio del naturalista? Ma sì! Con *Google Earth* e con l'aiuto di una serie di amici che si divertono con l'informatica. Ma anche con il contributo di tanti ragazzi e dei loro docenti, che si sono appassionati a questo progetto e che lo hanno riempito di significati.

A bordo!

A 200 anni dalla nascita di Charles Darwin e a 150 dalla pubblicazione del suo libro *L'origine delle specie*, il Cus-Mi-Bio (Centro università di Milano-



“L'EQUIPAGGIO” DEL CUS-MI-BIO

LE TAPPE DEL LAVORO

La proposta di creare un evento per le ricorrenze darwiniane del 2009 è stata comunicata alle scuole tramite i docenti e gli studenti che ogni giorno partecipano alle attività del Cus-Mi-Bio, un centro per la diffusione delle bioscienze e delle biotecnologie nato cinque anni fa dalla collaborazione tra l'Università di Milano e l'Ufficio scolastico regionale della Lombardia. Le scuole (docenti e studenti) interessate sono state invitate a un incontro di presentazione del progetto verso la fine di novembre 2008. L'incontro è subito diventato operativo perché, con l'aiuto degli studenti presenti, abbiamo capito il funzionamento di Google Earth e, in diretta, abbiamo disegnato la rotta del Beagle e scelto le tappe da approfondire. La seconda parte del lavoro, durata circa due mesi, consisteva nella raccolta dei materiali per ciascuna tappa, affidata agli studenti sotto la guida dei propri insegnanti; alcune classi hanno anche elaborato in modo autonomo video e disegni originali. Per la registrazione delle voci e l'organizzazione dei lavori in podcasting i vari gruppi di studenti sono tornati al Cus-Mi-Bio in diversi pomeriggi verso la metà di gennaio 2009 e hanno completato il lavoro con l'aiuto di un esperto in tecnologie multimediali e con l'utilizzo della tecnologia Apple, di facile gestione per la realizzazione di file audio e video adatti alla rete.



📍 Un esemplare di iguana terrestre delle Galápagos.
 📍 Il pianisfero di Google Earth con la rotta della prima tappa del viaggio del brigantino Beagle. Si parte da Plymouth, porto nella contea del Devon, in Inghilterra, e si prosegue verso le isole Canarie (Santa Cruz de Tenerife) e verso le isole di Capoverde. Al di là dell'Atlantico si approda a Salvador di Bahia (Brasile), alle Isole Falkland e nella Terra del Fuoco. Lungo il Pacifico si incontrano le tappe di Valparaiso in Cile e di Callao in Perù e infine si arriva alle Galápagos, precisamente nel porto di Villamil sull'isola di Floreana.

Scuola per la diffusione delle bioscienze e delle biotecnologie) ha ideato e sviluppato un progetto per celebrare queste grandi ricorrenze. Studenti e docenti di scienze delle scuole superiori della Regione Lombardia sono stati invitati a partecipare alla realizzazione di un viaggio virtuale alla riscoperta delle tappe fondamentali della rotta del brigantino Beagle, lungo l'affascinante viaggio che portò il grande naturalista inglese all'elaborazione della teoria dell'evoluzione delle specie per selezione naturale. Hanno aderito al progetto 12 classi: utilizzando l'applicazione Google Earth, gli studenti, coordinati dai loro insegnanti e da docenti e tecnici informatici del Cus-Mi-Bio, hanno ripercorso la prima tappa del viaggio di Darwin, dalla partenza da Plymouth, in Inghilterra, all'arrivo alle isole Galápagos. Ogni classe ha scelto una parte del percorso e ha raccolto testi, video o materiale fotografico sul luogo, le sue popolazioni, la sua cultura, le condizioni ambientali al tempo del viaggio di Darwin e/o ai giorni nostri, con l'obiettivo di far notare il cambiamento che è avvenuto in più di 150 anni. In particolare, i ragazzi hanno

concentrato la loro attenzione su quello che poteva aver colpito il naturalista allora e su quello che potrebbe sorprenderlo oggi, se tornasse a visitare gli stessi luoghi.

Creatività al potere

Per la rielaborazione dei materiali si è lasciato ampio spazio alla creatività degli studenti, che hanno interpretato ogni tappa con uno stile personalissimo, rompendo gli schemi rigidi di una ricerca di tipo tradizionale. Ecco dunque faccia a faccia immaginari tra il Darwin del 1859 e un suo "pronipote" di oggi, vignette a china, sonetti duecenteschi composti per descrivere osservazioni naturalistiche, vivaci collezioni di filmati e di immagini, servizi giornalistici, reinvenzioni di giornali d'epoca. E ancora: interviste "impossibili" a un Darwin ventenne o interventi di un insolito Darwin hippie in crociera alle Galápagos, che si atteggia a novello Ulisse e declama la teoria evolutiva in versi aulici. Il tutto in formato podcast, in un'originale raccolta che unisce all'accuratezza dell'approfondimento la freschezza, l'inventiva e gli strumenti preferiti dai giovani.



GLI STRUMENTI DEL PROGETTO

Il viaggio di Darwin poteva essere ripercorso in tanti modi. Perché si è deciso di usare proprio Google Earth e gli strumenti del Web 2.0?

Web 2.0 L'avvento e la diffusione del Web 2.0, la nuova rete più interattiva e dinamica, hanno rivoluzionato interamente i modelli, le metodologie e gli strumenti della didattica tradizionale. Agli studenti vengono offerte soluzioni flessibili di apprendimento: sono loro che scelgono il percorso didattico, senza vincoli di spazio e tempo. Ma, soprattutto, sono loro che, coordinati da un docente o da un *tutor*, producono nuova conoscenza, diventando creatori di contenuti condivisibili in rete. Il modello di apprendimento collaborativo, proprio del Web 2.0, consente la crescita del singolo all'interno di obiettivi condivisi da un gruppo: si lavora e si impara insieme. L'apprendimento individuale è il risultato di un processo collettivo nel quale i singoli partecipanti danno continuità all'evento formativo, condividendo settori di interesse sui quali comunicano in modo interattivo. Da semplici fruitori, gli studenti diventano produttori di informazioni, le quali a loro volta diventano sapere condiviso, slegato dalla fonte, indipendente dalla persona che lo produce. Il mondo del Web 2.0 presenta applicazioni tecnologiche quali i wiki, i blog, i podcast, *l'instant messaging* che sono relativamente semplici da utilizzare, molto diffusi tra i ragazzi (i cosiddetti "nativi digitali") e in grado di facilitare la comunicazione di gruppo. Il risultato? Si apprende "facendo" e si contribuisce alla diffusione di nuova conoscenza.

Google Earth Un programma di grafica tridimensionale che utilizza fotografie satellitari della superficie terrestre per riprodurla in modo realistico: ecco in che cosa consiste Google Earth. Il software fornisce la possibilità di aggiungere dati da posizionare all'interno delle sue mappe. Si chiamano *layers* e sono veri e propri "strati" di informazione che indicano punti d'interesse tematici. Il formato che descrive i layer si chiama KML ed è una forma semplificata di XML, un linguaggio universale per costruire pagine web. Utilizzarlo vuol dire essere sicuri di poter pubblicare, distribuire e condividere contenuti di varia natura con chiunque, indipendentemente dalla configurazione hardware o software. Esiste anche la versione compressa KMZ; il file scaricabile con il viaggio di Darwin ha proprio questa estensione. Google Earth è un software collaborativo; il sito web dell'applicazione (<http://earth.google.com>) non si limita a visualizzare e organizzare i contenuti, ma permette a ogni utente di intervenire direttamente come autore, aggiungendo o modificando i contenuti via Web attraverso un normale *browser*. Gli strumenti che si utilizzano sono estremamente *user friendly*, impostati secondo il principio di semplicità e velocità per la creazione e l'aggiornamento dei testi anche in formato audio o video. Grazie a questo strumento, i ragazzi non sono più solo fruitori passivi di tecnologie, ma ideatori e progettisti di nuovi percorsi multimediali.

Podcasting Secondo una definizione di Alberto Pian, docente di lettere e filosofia dell'Ils Bodoni-Paravia di Torino ed esperto di didattica multimediale, il podcast è «un sistema che consente di scaricare in modo automatico dalla rete contenuti organizzati in episodi e presentati in formato audio, video o pdf. L'applicazione rintraccia i prodotti senza che l'utente registrato sia costretto a cercarli tra migliaia di pagine web, e lo avvisa di ciascun aggiornamento pubblicato. I podcast sono ormai considerati importanti strumenti di comunicazione che si richiamano all'esperienza della radio, una radio che si ascolta, si vede, si legge e si naviga. Efficace, utile, semplice, il podcast è la frontiera più avanzata nel mondo dell'elaborazione e diffusione di contenuti via Web»[1].

Si tratta in pratica di file audio e video disponibili in Internet, ma scaricabili e fruibili con vari dispositivi portatili (telefoni cellulari, palmari, minilettrici di file mp3...). A differenza di un sito Internet, il podcast non è un semplice contenitore di risorse, ma consente anche un facile aggiornamento dei contenuti, concepiti come episodi. Per la loro fruibilità ottimale, è necessario che i contenuti siano correlati da un filo conduttore e inseriti in un'adeguata struttura narrativa. Nel nostro caso, il filo conduttore è il viaggio di Darwin ripercorribile su GoogleEarth e la cornice narrativa in cui i diversi materiali sono inseriti è ricostruibile nella pagina di apertura delle singole tappe. Ricorrere in classe a questo strumento ha contribuito a sviluppare la capacità di espressione dei ragazzi e a potenziarne l'abilità di comunicazione attraverso l'uso di forme diverse di media.



RISORSE

1. A. Pian, *Didattica con il podcasting*, Laterza, Bari 2009.





“L'EQUIPAGGIO” DEL CUS-MI-BIO

Dall'alto: Paolo Plevani, docente di biologia molecolare all'Università di Milano, Cinzia Grazioli e Cristina Gritti, docenti di scienze rispettivamente presso i licei scientifici Vittorio Veneto di Milano e Galileo Galilei di Caravaggio (entrambe distaccate al Cus-Mi-Bio dall'Ufficio scolastico regionale della Lombardia) e, infine, Giovanna Viale, docente di biologia e genetica all'Università di Milano.



SPAZIO AL DOCENTE

Ogni anno, il liceo scientifico-tecnologico Maserati di Voghera (Pavia) presenta progetti rivolti all'educazione allo sviluppo sostenibile, il cui obiettivo principale è portare gli alunni a maturare comportamenti ambientali consapevoli e responsabili. Nell'ottobre 2008, in previsione della ricorrenza del bicentenario della nascita di Darwin, si è deciso di modificare i progetti privilegiando lo studio della biodiversità del territorio e dello sviluppo sostenibile. Ma che cosa c'entra Darwin con questi temi? In realtà c'entra eccome, perché è stato un grande osservatore dell'ambiente. Inoltre, come docenti di scienze, siamo particolarmente “affezionati” a Darwin stesso e alla sua teoria dell'evoluzione, la “teoria” scientifica per eccellenza. Così abbiamo colto l'occasione non solo per trasformare i progetti ambientali nella celebrazione del primo “ambientalista” della storia, ma anche per modificare in modo molto flessibile la nostra programmazione, trattando l'evoluzione e la classificazione dei viventi in tutte le classi, dalla terza alla quinta, nell'anno scolastico 2008/2009: il bicentenario capita una volta sola! Da novembre a gennaio, quindi, un gruppo di una trentina di ragazzi ha imparato a operare con Google Earth e ha studiato la vita e il pensiero di Darwin per trovare il materiale per interviste impossibili (ma verosimili) da registrare in formato video. In particolare, il materiale è stato tratto dall'opera darwiniana *Viaggio di un naturalista intorno al mondo*, reinterpretata dai ragazzi, che hanno deciso di evidenziare soprattutto gli aspetti che avevano colpito lo scienziato durante la visita nel continente sudamericano: le infinite forme bellissime e nuovissime di animali e vegetali, la diversità degli usi e costumi delle popolazioni native ecc. È stata data importanza anche agli aspetti, già presenti allora, legati allo sfruttamento delle risorse del territorio e degli uomini, condannando la schiavitù molto praticata all'epoca del viaggio e la mancanza di rispetto per l'ambiente e la cultura locale. I risultati sono stati forse discutibili sul piano tecnico, ma di certo riuscitissimi dal punto di vista del coinvolgimento. *Mario Benenti e Maria Luisa Castoldi, liceo scientifico-tecnologico Maserati, Voghera (Pavia)*

Un lavoro in simbiosi

Molti aspetti hanno contribuito a dare una forte valenza didattica e formativa al progetto. Innanzitutto, il lavoro ha permesso di affrontare e discutere numerosi temi della biologia evolutiva in modo innovativo e interdisciplinare: non ci si è occupati, infatti, solo di biologia, ma anche di geografia, storia, informatica. In secondo luogo, gli studenti sono stati coinvolti in una ricerca personale di informazioni e nell'utilizzo di nuove modalità di presentazione di quanto raccolto. Da non trascurare, inoltre, il fatto che questo tipo di lavoro ha contribuito a potenziare la capacità dei ragazzi di confrontarsi con se stessi e di rapportarsi con i compagni in modo produttivo e collaborativo e ha facilitato la formazione di un rapporto diverso con il docente, al di fuori dei modi e dei tempi della didattica istituzionale. Nel complesso, ci sembra che il progetto abbia rappresentato un proficuo esempio di attività nell'ambito di quella che non è più solo una società dell'informazione, ma sta diventando una società della conoscenza. In effetti, la massa indistinta di dati oggi accessibile grazie alle potenzialità della tecnologia rimane tale (e di conseguenza poco utile) se non si hanno strumenti intellettuali adeguati per beneficiarne. Riteniamo che il lavoro

in simbiosi tra studenti, docenti e ricercatori universitari che si svolge in nuove comunità di apprendimento – come quelle nate intorno alle tappe del nostro viaggio evolutivo – sia fondamentale per la crescita culturale, sociale, etica e politica del singolo, che si trasforma in primo attore del suo processo di conoscenza.

Podcast e bollicine

La pubblicazione online dei materiali elaborati è avvenuta il 12 febbraio 2009, giorno del compleanno di Darwin, durante una grande festa con torta e champagne, svoltasi nel campus Città studi dell'Università di Milano. Hanno partecipato alla celebrazione rappresentanti istituzionali dell'università e dell'ufficio scolastico regionale e anche Luca Novelli, autore dei tre volumi di *In viaggio con Darwin* che, inconsapevolmente, ha contribuito a far nascere l'idea. Il lavoro è attualmente scaricabile dalla sezione del sito del Cus-Mi-Bio dedicata alla comunicazione in podcast: www.podcastrevolution.it.

● Per proporre esperienze, progetti, attività:
linxedizioni.it/contatti

FISICA, CHIMICA O ENTRAMBE?



Nuove opportunità didattiche e occasioni di orientamento con una giovane disciplina a cavallo delle principali scienze “dure”: la scienza dei materiali, entrata da subito a far parte del Progetto lauree scientifiche. Ecco alcune proposte per la scuola dell’Università di Milano Bicocca.

■ ■ ■ ■ ■
VALENTINA MURELLI

«**L** lauree panda»: alcuni anni fa si era arrivati a definire così – con chiaro riferimento all’animale simbolo del pericolo di estinzione – i corsi di laurea in matematica, fisica e chimica. A partire dai primi anni novanta e per un buon decennio, infatti, si è registrato un calo costante del numero di nuove immatricolazioni a queste discipline universitarie. Calo che, ovviamente, ha destato forti segnali di preoccupazione nel mondo universitario, ma anche in quello industriale. In risposta a questa situazione, nel 2004 è nato il *Progetto lauree scientifiche*: una serie di iniziative organizzate dalle principali università italiane, in accordo con gli uffici scolastici regionali, Confindustria e il Ministero per l’istruzione, l’università e la ricerca (Miur).



CORTESIA DIPARTIMENTO SCIENZA DEI MATERIALI / UNIV. MILANO BICOCCA

- ➡ Un momento del lavoro durante un laboratorio di scienza dei materiali all'Università di Milano Bicocca.
- ➡ Palline di silicone.

UN ESEMPIO DI ATTIVITÀ: DALLA COLLA ALLA PALLA

Pneumatici, guarnizioni, guaine dei fili elettrici, palline da tennis: ogni giorno abbiamo a che fare con gli elastomeri, materiali polimerici capaci di recuperare la forma e le dimensioni originali dopo un'elevata deformazione.

Ma come si ottengono questi materiali e che caratteristiche hanno dal punto di vista chimico-fisico? Per gli studenti che hanno seguito l'attività di laboratorio sugli elastomeri al Dipartimento di scienza dei materiali in Bicocca queste domande non hanno più segreti. Il laboratorio prevedeva tre momenti principali:

- 1.** breve introduzione teorica, con spiegazione del ruolo del fenomeno di reticolazione nella formazione di elastomeri;
- 2.** preparazione di palline elastomeriche a partire dal polivinilalcol (colla Vinavil), dal polidimetilsilossano (silicone) e dal poliisoprene (lattice estratto dall'albero della gomma), con aggiunta di una sostanza reticolante;
- 3.** caratterizzazione delle palline ottenute: proprietà chimico-fisiche, misure di elasticità, misure termodinamiche.

Il progetto è rivolto a studenti e docenti delle scuole superiori, con l'obiettivo di incrementare le iscrizioni ai corsi di laurea nelle scienze "dure" e, più in generale, di stimolare l'interesse dei ragazzi nei confronti delle materie scientifiche.

Una nuova disciplina

In realtà, il progetto non ha riguardato solo matematica, fisica e chimica, ma anche una quarta disciplina praticamente appena nata, almeno in Italia: la scienza dei materiali, una specializzazione multidisciplinare a cavallo tra argomenti di fisica dei materiali e di chimica dello stato solido.

In questo caso, per le 11 università partecipanti al progetto – coordinate dal Dipartimento di scienza dei materiali dell'Università di Milano Bicocca – l'obiettivo non era tanto recuperare una

situazione in difficoltà (la disciplina è troppo giovane per fare bilanci "storici"), quanto far conoscere ai ragazzi l'esistenza di questo corso di laurea. «In più la Conferenza nazionale dei presidi delle facoltà di scienze e tecnologie ha ritenuto che l'inserimento della scienza dei materiali nel Progetto lauree scientifiche avesse una forte valenza didattica, sia per il suo carattere interdisciplinare, sia perché offre esempi concreti della ricaduta della scienza e della tecnologia nella vita quotidiana», spiega Simona Binetti, referente per il progetto dell'Università di Milano Bicocca.

Dai vetri colorati ai fluidi magnetici

Quali sono state, allora, le proposte didattiche dell'ateneo milanese in questo nuovo settore? «Piatto forte dell'iniziativa,

ovviamente, sono state le attività di laboratorio, da svolgere all'interno dell'università, sia perché non sempre le scuole hanno a disposizione laboratori attrezzati di fisica e chimica, sia perché ci sembrava il modo migliore per presentare una disciplina completamente assente dai programmi scolastici e una figura professionale tutto sommato ancora poco conosciuta», racconta Binetti. Dopo una prima fase di ideazione, le attività sono state proposte, con la collaborazione dell'Ufficio scolastico regionale della Lombardia, ad alcune centinaia di scuole superiori di Milano e dell'hinterland (in particolare alle classi quarte e quinte) e nel 2006/2007 i laboratori hanno preso il via. Diverse le esperienze messe in pratica: realizzazione di una cella solare di Grätzel, realizzazione e caratterizzazione di vetri colorati, preparazione di biossido



TEMPO DI BILANCI PER LE SCIENZE DURE

Una buona notizia c'è: anche se lentamente, il numero di iscritti ai corsi di laurea in matematica, fisica e chimica negli ultimi anni ha ripreso a salire. «Questa nuova tendenza dipende anche da una rinnovata attenzione al problema, a costruire la quale ha indubbiamente contribuito il Progetto lauree scientifiche», commenta Nicola Vittorio, professore di astronomia e astrofisica all'Università di Roma Tor Vergata e già presidente della Conferenza nazionale dei presidi delle facoltà di scienze e tecnologie. Sebbene sia ancora presto per fare bilanci definitivi, alcune somme possono già essere tratte. «Abbiamo cominciato ad analizzare i questionari che sono stati distribuiti a tutti gli studenti e i docenti partecipanti alle varie attività promosse dal progetto. Alla domanda "che cosa ritieni più importante per aumentare il gradimento delle scienze da parte dei ragazzi?", la maggior parte degli studenti ha risposto indicando tre fattori: l'attività di laboratorio, la comprensione del ruolo della scienza nell'attività quotidiana e la comprensione delle frontiere della scienza. Che sono esattamente tre capisaldi della filosofia del progetto, a indicare che tutto sommato abbiamo colto nel segno», racconta Vittorio. Altre risposte, inoltre, fanno chiaramente capire che, rispetto a un gruppo di controllo che non ha partecipato al progetto, tra chi lo ha seguito si registra un aumento dell'interesse nei confronti della scienza. «Oltre a questo, va segnalato che il Progetto lauree scientifiche ha permesso la creazione di un linguaggio comune tra soggetti – atenei, scuole, uffici scolastici regionali – che prima si parlavano poco: una rete di interazioni che non deve essere perduta», precisa Vittorio. Il futuro del progetto, però, non è chiaro: si aspetta di sapere se il Ministero dell'istruzione, università e ricerca continuerà a finanziarlo o meno. «In ogni caso, molte università si stanno già organizzando per cercare di mantenere autonomamente almeno alcune delle attività messe a punto», commenta Simona Binetti.

di titanio per superfici autopulenti, preparazione e caratterizzazione di oggetti elastomerici, fabbricazione di un OLED (diodo emettitore di luce organico), preparazione di un fluido magnetico.

Un dialogo più facile

Le attività si svolgevano in due mezza giornate ed erano precedute da un'introduzione alla scienza dei materiali e agli esperimenti da svolgere. «Per la progettazione, abbiamo seguito alcuni criteri fondamentali», spiega Binetti. «Per prima cosa, abbiamo cercato di proporre temi di lavoro che avessero forti relazioni con oggetti tecnologici della vita di tutti i giorni e che potessero quindi risultare "immediati" ai ragazzi. I temi, però, dovevano anche essere connessi a linee di ricerca attuali e magari affrontate nel nostro dipartimento, nella convinzione che tutto questo avrebbe aiutato a far emergere con più chiarezza competenze e sbocchi professionali dello scienziato dei materiali».

Particolare cura è stata posta nell'organizzazione pratica del lavoro, per rendere possibile a tutti i ragazzi di prendere parte attivamente agli esperimenti, guidati in laboratorio da studenti di dottorato e giovani ricercatori. «Pensavamo che questo avrebbe facilitato il contatto e lo scambio di informazioni tra i ragazzi e chi ha intrapreso una carriera

scientifica ed è stato effettivamente così», commenta Binetti. Anzi, secondo alcuni docenti partecipanti alle attività e intervistati in merito da "Linx Magazine", questo è stato un punto di forza della proposta: gli esperimenti più semplici, infatti, potrebbero essere svolti anche a scuola, ma in questo modo si perderebbe la possibilità per i ragazzi di entrare in contatto, soprattutto attraverso le chiacchierate con i tutor, con il vero mondo della ricerca.

Studenti "riabilitati"

Dopo tre anni di attività, il bilancio dell'esperienza è decisamente positivo: dai questionari distribuiti emerge che docenti e ragazzi hanno sempre gradito le esperienze proposte; un grande successo ha avuto anche un workshop sulle nanotecnologie organizzato nel dicembre 2008. Soddisfazione anche per gli organizzatori: «Abbiamo addirittura modificato il nostro punto di vista sui ragazzi», conclude Binetti. «Spesso, i docenti universitari hanno un pregiudizio sugli studenti delle scuole superiori: li considerano poco interessati e superficiali. Abbiamo scoperto che non è affatto così». ☺

☉ Per proporre esperienze, progetti, attività: linxedizioni.it/contatti

SPAZIO AL DOCENTE

Ho partecipato nell'anno scolastico 2006/2007 alle attività del laboratorio di scienza dei materiali in Bicocca, con una classe quarta. I ragazzi, suddivisi in gruppi, hanno lavorato a quattro diversi esperimenti, tutti fattibili e interessanti. L'esperienza è stata decisamente positiva, sia sul piano didattico, sia sul piano dell'orientamento universitario. Frequentando i laboratori e, ancor più, parlando con dottorandi e ricercatori, i ragazzi si sono chiariti le idee su che cosa possa significare studiare scienza dei materiali, chimica o fisica all'università. In alcuni casi, questo ha confermato degli interessi, mentre in altri ha aiutato a capire che era meglio orientarsi verso discipline differenti. Annunziata Cozzolino, istituto tecnico industriale Altiero Spinelli, Sesto San Giovanni (Mi)



IN RETE!

Far sopravvivere le «lauree panda» Sito del Progetto lauree scientifiche: presentazione, monitoraggio dei risultati, testimonianze e news dal mondo della ricerca.

www.progettolaurescientifiche.eu

FarSciMat Portale di coordinamento delle varie sedi universitarie partecipanti al Progetto lauree scientifiche nell'ambito della scienza dei materiali. È anche uno strumento di orientamento, informazione e approfondimento, grazie a filmati, animazioni, ipertesti e test di verifica. www.farsciat.unipr.it



PER APPROFONDIRE

— D. Narducci, *Cosa sono le nanotecnologie. Istruzioni per l'uso della prossima rivoluzione scientifica*, Sironi, Milano 2008.

— G. Pacchioni, *Idee per diventare scienziato dei materiali. Dall'invenzione della carta alle nanotecnologie*, Zanichelli, Bologna 2005.

ESPERTI E STUDENTI A CONFRONTO

Ragazzi e scienziati che discutono insieme di temi scientifici dal forte impatto sociale, in un processo partecipativo di costruzione della conoscenza: ecco il cuore del progetto *Percezione e consapevolezza della scienza*, ideato dal Cnr.



ALBA L'ASTORINA
LOREDANA CERBARA
LUCIANA LIBUTTI
ADRIANA VALENTE



NASA

Da una recente indagine sulle attività di comunicazione degli istituti del Consiglio nazionale delle ricerche (Cnr) risulta che, dopo i rappresentanti del mondo industriale e gli amministratori pubblici, gli studenti siano il pubblico privilegiato a cui i ricercatori si rivolgono per comunicare i contenuti scientifici delle loro attività [1]. Sotto formula di lezioni didattiche in classe, di laboratori aperti agli studenti negli stessi istituti di ricerca, o di interventi inseriti nella cornice di festival o iniziative museali, l'incontro diretto tra studenti e scienziati si fa sempre più frequente.

I limiti della divulgazione

Secondo quanto riferiscono gli stessi ricercatori nella citata indagine, la comunicazione verso gli studenti è preferita perché percepita come più facile e meno "rischiosa" rispetto a quella rivolta ad altri soggetti, come i media o il pubblico generico, da cui ci si sente spesso "frantesi". Ma, analizzando il modello di comunicazione che caratterizza la relazione tra studenti ed esperti in questi incontri, si scopre che di solito esso non va molto oltre la formula della divulgazione. Non che la divulgazione scientifica non sia importante e utile, soprattutto se ben fatta; essa, però, propone un modello lineare di interazione tra scienziati e studenti, a senso unico e aproblematico, che non valorizza la multidirezionalità né

La ricerca spaziale è stato uno degli argomenti trattati nel corso del progetto Pas del Cnr.



📶 **Antenna per la telefonia. I temi oggetto del dibattito – come l'elettromog – fanno parte della cosiddetta "scienza in divenire".**

Scienza in divenire

La proposta del progetto Pas consiste nell'organizzazione di gruppi di studio e di confronto tra giovani provenienti da classi di scuole secondarie inferiori e superiori di varie città italiane su una serie di temi scientifici attuali dal forte impatto sociale. Successivamente, gli stessi temi vengono ripresi e discussi in un pubblico dibattito con gli esperti. Finora hanno preso parte all'attività scuole di Bologna, Milano, Napoli e Roma. Il campione di scuole partecipanti è stato selezionato in modo tale da prevedere la presenza di almeno una scuola per ciascun indirizzo scolastico e tenendo conto di un'equa distribuzione tra scuole del centro e di periferia.

Come accennato, gli argomenti oggetto del dibattito non appartengono alla sfera della cosiddetta "scienza consolidata", la scienza che solitamente si studia a scuola ed è presente nei libri di testo, quella fatta di leggi e formule da imparare o sperimentare. Piuttosto, fanno parte di quella che il sociologo della scienza francese Bruno Latour chiama "scienza in divenire" [5]. Si tratta di temi la cui portata esce dai laboratori scientifici per coinvolgere con questioni etiche e civili vari livelli della nostra società: politico, amministrativo, economico. Infatti, gli argomenti trattati finora (Ogm, elettromog, ricerca spaziale, cambiamenti climatici, crisi idrica) presentano una complessità di componenti – critiche, interdisciplinari, problematiche – che sono state tutte oggetto del dibattito.

L'obiettivo formativo del progetto si collega a quello di valorizzare la partecipazione attiva al dibattito scientifico e sociale sulla base di un percorso che prevede una serie precisa di passaggi.

1. Attivazione della conoscenza tacita

Il punto di partenza del progetto non è costituito, come solitamente avviene, dalle conoscenze esperte, bensì da quelle "tacite" possedute da ogni studente, che costituiscono il tratto distintivo della sua relazione con il tema e che vengono fatte riaffiorare alla consapevolezza individuale e collettiva attraverso la metodologia partecipativa. In particolare, negli ultimi anni, come modalità partecipativa si è scelta la cosiddetta tecnica di discussione visualizzata Metaplan, che prevede momenti individuali di riflessione, scambio di idee con i compagni e rielaborazione del tema a livello collettivo. Da questa sequenza emerge così quella "conoscenza tacita" del tema che l'individuo/gruppo

i contributi che potrebbero venire dai ragazzi. Inoltre, nel timore che la complessità di alcuni argomenti scientifici possa creare difficoltà e suscitare distacco, spesso la scienza oggetto di questa comunicazione viene semplificata, privata di ogni riferimento alle revisioni, alle incertezze, agli errori e alle controversie che invece caratterizzano il dibattito interno alla scienza [2]. E tutto ciò non aiuta la costruzione del pensiero scientifico – per il quale sono necessari il rigore, ma anche la possibilità di coltivare il dubbio, nella legittima ricerca di conoscenza e di soluzioni – che pure dovrebbe essere la finalità della comunicazione degli scienziati con gli studenti [3].

Un soggetto articolato, un confronto a più voci

Portare nelle scuole la ricchezza e l'articolazione del dibattito scientifico, inclusa l'*unavoidable uncertainty*, l'inevitabile

componente di incertezza della scienza (base e alimento del metodo scientifico) di cui parla Brian Trench [4], valorizzando un percorso innovativo di studio, di partecipazione e di confronto tra giovani ed esperti, è invece il principale obiettivo del progetto *Percezione e Consapevolezza della Scienza - Ethics and Polemics* (Pas) che un gruppo di ricerca del Cnr porta avanti da alcuni anni.

A questa tensione del progetto verso la proposizione e sperimentazione di modelli comunicativi si affianca l'intento di osservare la realtà entro cui si opera, in vista di una migliore comprensione della stessa e di una crescita di consapevolezza in tutti i partecipanti. A tal fine, al dibattito con gli esperti il progetto affianca sempre un'attività investigativa, volta a cogliere la percezione degli studenti sui temi proposti nel dibattito e sui valori della scienza, mediante questionari distribuiti all'inizio e alla fine del percorso comunicativo e formativo.



CHE COSA PENSANO I RAGAZZI

Oltre a sperimentare modelli comunicativi che valorizzano l'aspetto partecipativo, il progetto Pas costruisce da anni un osservatorio sulla percezione della scienza da parte degli studenti. Le indagini sono servite a sfatare alcuni luoghi comuni, per esempio che le ragazze abbiano meno fiducia dei ragazzi nella scienza, e a far emergere invece le differenze qualitative di atteggiamento. Le **Tabelle 1 e 2** riportano i dati relativi ad alcune domande che sono state poste nei questionari distribuiti durante gli ultimi due anni di progetto, relativamente alle indagini su cambiamenti climatici e crisi idrica. In un caso (**Tabella 1**), abbiamo chiesto a studenti e studentesse (384 in tutto) di indicare le proprie sensazioni in merito agli sviluppi e alle applicazioni delle nuove scoperte in campo ambientale, scegliendo le parole che meglio potevano esprimerle da una lista preconstituita. La maggioranza dei ragazzi e delle ragazze ha espresso un giudizio ottimistico in entrambe le indagini. Sussiste sempre una costante benché piccola differenza tra ragazzi e ragazze, attestandosi queste ultime su posizioni di maggiore cautela e minore ottimismo.

Un altro quesito fondamentale per cogliere il grado di fiducia dei giovani verso la scienza è quello relativo al processo decisionale (**Tabella 2**). In questo caso sono stati intervistati 387 studenti. Come in indagini precedenti, la maggioranza dei ragazzi e delle ragazze interpellati si è dichiarata a favore dell'autonomia decisionale degli scienziati. Le altre opzioni proposte hanno raccolto pochi consensi, tranne quelle che riguardano i cittadini in generale, che dovrebbero avere una certa voce in capitolo soprattutto per le ragazze, e le associazioni ambientaliste, che qui rivestono un ruolo importante senza dubbio a causa degli argomenti trattati. La classe politica ha visto sollecitare scarso interesse. In definitiva, la fiducia negli scienziati è confermata, così come la consapevolezza che non è marginale nemmeno il ruolo della società nel suo complesso. Fiducia, però, non significa obbedienza; anzi, nell'atteggiamento di dubbio e di maggiore cautela espresso dalle ragazze si intravede un atteggiamento problematico che è fondamentale per una partecipazione critica al dibattito scientifico.

Tabella 1. Ottimismo o preoccupazione?

Quali delle seguenti parole descrive meglio ciò che senti circa gli sviluppi e le applicazioni delle nuove scoperte scientifiche effettuate nel settore oggetto di studio?	Indagine cambiamenti climatici		Indagine crisi idrica	
	maschio*	femmina*	maschio*	femmina*
Giudizio negativo (preoccupato, cauto, pessimista)	34	32	32	36
Giudizio intermedio (sentimenti contrastanti, confuso, indifferente)	20	28	21	32
Giudizio positivo (ottimista, entusiasta, fiducioso)	46	40	47	32

Tabella 2. Chi decide?

Chi dovrebbe partecipare al processo decisionale sull'uso delle applicazioni della ricerca?	Indagine cambiamenti climatici		Indagine crisi idrica	
	maschio*	femmina*	maschio*	femmina*
Scienziati/e dei settori direttamente coinvolti sugli aspetti tecnici	50	43	61	66
La comunità scientifica in senso ampio	16	24	9	7
La classe politica	8	2	6	1
Le industrie	4	2	3	4
Tutti i cittadini	12	15	8	10
I comitati di bioetica	0	0	1	1
Le associazioni ambientaliste	8	12	10	8
Le associazioni di tutela dei consumatori	1	2	1	2
Le organizzazioni non governative	0	0	0	1
Altre organizzazioni	1	0	1	0

* I dati riportati nelle tabelle sono espressi in percentuale



➔ **Baccelli di soia geneticamente modificata. Gli OGM offrono un ottimo esempio di "scienza in divenire".**



**LOREDANA CERBARA
ADRIANA VALENTE
ALBA L'ASTORINA
LUCIANA LIBUTTI**



Le autrici appartengono al gruppo di ricerca del Cnr *Comunicazione della scienza ed educazione*, che svolge da anni attività di ricerca e di sperimentazione sui principali aspetti della comunicazione pubblica della scienza e della didattica delle scienze (ai fini di una migliore comprensione e valorizzazione del rapporto scienza-società).

ANATOMIA DI UN PROGETTO

Il progetto *Percezione e consapevolezza della scienza - Ethics and Polemics (Pas)*, attivato la prima volta nel 2002-2003 e considerato tuttora come progetto in divenire, è inserito nella commessa del Cnr dedicata alla comunicazione della scienza ed educazione (www.irpps.cnr.it/com_sci). Vi partecipano gli istituti del Cnr Irpps (coordinatore), Ceris e Irea; il British Council è un collaboratore fisso, mentre nel corso degli anni si sono attivate altre collaborazioni, come quella con la Fondazione Rosselli o con la Protezione civile.

La metodologia del Pas è stata selezionata quale una delle due *best practices* italiane dal progetto europeo *Form-it. Take Part in Research*, che ha analizzato 160 proposte, con l'intento di «creare un set di criteri di qualità e linee guida per realizzare progetti di ricerca e cooperazione educativa e per produrre documenti di policy per decisori».

non sa di possedere e che, attraverso l'organizzazione delle idee affiorate nel corso della discussione, consente a ciascuno di impegnarsi in prima persona per l'analisi e la scoperta di possibili soluzioni. Nell'ultimo anno di progetto (anno scolastico 2007/2008), per esempio, l'argomento scelto per la discussione è stato la crisi idrica. Per far emergere la conoscenza tacita, è stato organizzato un Metaplan all'inizio del progetto, quando i ragazzi non avevano ancora consultato la documentazione fornita dal Cnr e dunque non conoscevano "nulla" dell'argomento. La domanda di partenza della discussione era: «La crisi idrica è (o non è) un problema per me e perché?». Gli studenti hanno così scoperto una relazione con il tema proposto che non sapevano di avere. La tecnica ha funzionato anche da motivazione per il dibattito: scoprire una relazione con l'argomento che non si immaginava di avere, infatti, motiva gli studenti ad approfondire il tema, a partecipare anche alle altre fasi di preparazione al dibattito scientifico, a portare allo stesso il proprio contributo individuale.

2. Documentazione/informazione

Al centro del percorso vi è l'attività di studio sulla documentazione scientifica selezionata dal Cnr sulla base di precisi criteri: attendibilità e pluralità delle fonti, pluralismo delle opinioni e dei punti di vista degli attori tecnico-scientifici e sociali in gioco, a livello sia nazionale sia internazionale. La documentazione viene poi integrata da ricerche e approfondimenti proposti dagli stessi studenti, assecondando gli aspetti del tema che li interessano maggiormente. Questa fase è molto importante perché, sebbene un'informazione adeguata da sola non sia sufficiente a far partecipare i giovani al dibattito, senza una corretta ricerca documentaria non è comunque possibile coltivare un interesse e maturare alcun tipo di atteggiamento rispetto alla scienza. Da una buona informazione dipende la qualità della partecipazione: solo uno studente informato può assumere un ruolo attivo e critico nel dibattito [6].

3. Comunicazione

Dal momento in cui viene fornita la documentazione, il gruppo (cioè la classe)

avvia una discussione al proprio interno sull'argomento, in cui l'insegnante svolge il ruolo di *tutor*. In questa fase è valorizzato il dialogo informale tra i membri del gruppo, che assumono un ruolo centrale e interagiscono tra loro. Il dibattito e i processi deliberativi all'interno dei gruppi vengono sollecitati per un momento di crescita di conoscenze. Attraverso la collaborazione e la discussione, i gruppi si formano idee proprie, tentano di formulare proposte. In una parola, dalle conoscenze individuali si arriva alla costruzione di *collective wisdom*, di un patrimonio collettivo di conoscenza [7].

4. Partecipazione attiva

Ha luogo il pubblico dibattito con gli esperti; i gruppi assumono un ruolo attivo e fanno domande mentre gli esperti, che rappresentano punti di vista differenti riguardo all'argomento scelto, tentano di rispondere e di accogliere i punti di vista degli studenti. Nel corso degli anni si è andati sempre di più verso la valorizzazione degli aspetti partecipativi del progetto, allo scopo di far diventare il dibattito un vero e proprio "luogo di cambiamento", aperto



CORTESIA CHARLIE PATON

Una possibile soluzione al problema della crisi idrica: la Seawater Greenhouse, prima serra irrigata con acqua marina desalinizzata con il contributo di pannelli solari fotovoltaici.



RISORSE

1. A. L'Astorina, *Ricerchare e comunicare: indagine conoscitiva sulle attività di comunicazione negli istituti di ricerca del Consiglio Nazionale delle Ricerche*, "Working Paper Irea-Cnr", 1, 2009 (pubblicazione in corso di stampa presso l'Ufficio divulgazione e attività istituzionali del Cnr).
2. A. Valente (a cura di), *Immagini di scienza e pratiche di partecipazione*, Biblink editori, Roma 2009.
3. E. Falchetti, *Quale scienza, quale museo scientifico? Intervista ad Adriana Valente*, in E. Falchetti, *Costruire il pensiero scientifico in museo*, "Museologia Scientifica Memorie ANMS", I, 2007.
4. B. Trench, *Internet, turning science communication inside-out?*, Handbook of public Communication of Science and Technology, Bucchi & Trench eds, Routledge 2008.
5. B. Latour, *La scienza in azione*, Edizioni di Comunità, Torino 1998, p. 376.
6. L. Libutti, A. Valente, *Science communication and information dissemination: the role of the information professional in the "Perception and Awareness of Science" project*, "Journal of Information Science", 2006, 32, pp. 191-197.
7. C.M. Condit, R. Parrott, T.M. Harris, *Lay understanding of the relationship between race and genetics: development of a collectivized knowledge through shared discourse*, "Public Understanding of Science", 2002, 11, pp. 373-387.
8. C. Bonneuil, P.B. Joly, C. Marris, *Disentrenching Experiment: the construction of GM crop field trials as a social problem*, "Science, Technology and Human Values", 2008, 33, p. 201.
9. L. Libutti, A. Valente, A. L'Astorina, M. Mayer, *The Perception and Awareness of Science (PAS) Project*, Bridging the Gap between Research and Science Education, International Conference, Vienna, 2008.

all'apporto di ciascuno. Così, dopo i primi anni di *follow up* in cui alcuni studenti proponevano propri elaborati a seguito del dibattito (presentazioni multimediali, video, interventi), a conclusione dell'ultima esperienza per alcune classi si è sperimentata una pratica partecipativa più consolidata, sebbene introdotta per la prima volta nel contesto scolastico: il metodo Open Space Technology. Si tratta di una metodologia ad assemblea aperta che punta sulla capacità di auto-organizzazione dei partecipanti, il cui unico vincolo è l'assunzione di responsabilità in tempi brevi e certi. In pratica, i ragazzi e le ragazze, suddivisi in piccoli gruppi, propongono e discutono e, con l'aiuto dei tutor, approfondiscono i temi ritenuti prioritari, costruendo in breve tempo un'agenda partecipata che verrà messa a disposizione dell'intera assemblea.

Una nuova relazione tra scienziati e studenti

Fin dalla sua origine, il progetto Pas ha avuto il carattere di "pratica sperimentale", introducendo una versione originale del concetto di comunicazione, che in

questo contesto assume l'accezione di partecipazione al processo di produzione della conoscenza. Se è vero, come diceva anche Bruno Bettelheim, che un interesse profondo e duraturo si può nutrire solo verso qualcosa che si sia contribuito a costruire, allora per gli stessi ricercatori diventa fondamentale, più che correre a svelare l'ultima verità della scienza, contribuire a costruire dei luoghi della comunicazione, in cui i ricercatori stessi, insieme a docenti, tutor, studenti ed esperti, siano tutti parte del processo di cambiamento. Questo il vero senso dei seminari partecipativi, il cui obiettivo è costruire delle "arene", per dirla con Bonneuil, Joly e Marris, cioè «luoghi in cui attori individuali e collettivi interagiscono per definire la dimensione normativa e cognitiva di una questione» [8]. In questo modo, il progetto Pas non si limita a rappresentare un'occasione in più per il mondo della scuola, ma punta decisamente a "fare scuola" [9]. ➔

Per proporre esperienze, progetti, attività:
linxedizioni.it/contatti

IMPARARE DALLE MOSTRE

Questo è stato l'anno della grande esposizione *Darwin 1809-2009*: un docente e formatore riflette sull'importanza di questi eventi per la didattica della biologia.



GIORGIO NARDUCCI



MASSIMILIANO GIOVANNI - ARCHIVIO BIOPARCO

➤ Ricostruzione simbolica del *sandwalk*, il sentiero vicino alla casa di Darwin che lo scienziato percorreva meditando sulla propria teoria, realizzata per l'esposizione *Darwin 1808-1809*.

L'anno che stiamo vivendo, con le sue celebrazioni darwiniane, è irripetibile come occasione di riflessione sulle tematiche evolucionistiche e su uno scienziato che ha rivoluzionato il nostro modo di intendere la scienza. È inoltre un'ottima occasione per ragionare sul rapporto tra didattica della biologia e mostre scientifiche, grazie a *Darwin 1809-2009*, una grande esposizione che sta attraversando l'Italia. Siamo in un periodo di veloci cambiamenti nella scuola del nostro paese, come anche nelle modalità di trasmissione dell'informazione e assistiamo, spesso passivamente, a mutamenti che generano incertezza e difficoltà di comprensione della natura del processo scientifico: come essa proceda, come si origini una nuova scoperta, come si indirizzi un programma di ricerca, come intervengano nel processo storico gli "attori" di questa impresa – gli scienziati – con la loro personalità, la loro visione della vita e le loro emozioni. Le mostre scientifiche possono costituire contesti efficaci per affrontare tutti questi aspetti.

Un'ottima occasione

La mostra *Darwin 1809-2009* (allestita prima a Roma, poi a Milano e ora in procinto di spostarsi a Bari) ha originato una situazione particolare, nuova per il nostro paese: un'occasione per mettere a fuoco uno scienziato nel suo contesto storico e nella comunità scientifica nella quale ha vissuto, affrontando un tema complesso – la teoria dell'evoluzione – spesso fonte di fraintendimenti. Lo studente in visita si affaccia su un orizzonte ampio, quasi sterminato, di fatti e problemi, da definirsi nell'ambito di una teoria articolata e ancora passibile di rivoluzioni future, come sta avvenendo per esempio nell'ambito della biologia evolucionistica dello sviluppo (*Evo-Devo*). In questa situazione lo studente può decodificare e interpretare una teoria complessa per la prima volta in un contesto diverso, anche perché difficilmente nell'ambiente scolastico di tutti i giorni si riesce a costituire un momento efficace di apprendimento



relativo ai temi evolutivi. Del resto, la biologia evolutivista offre un ottimo esempio di area disciplinare fondata su una teoria di difficile comprensione: da una parte ci sono aspetti e fatti semplici e dimostrabili, sotto gli occhi di chiunque visiti una mostra di carattere evolutivista (per esempio il problema dell'incredibile diversità delle forme viventi nel corso del tempo); dall'altra ci sono teorie, congetture e ipotesi complesse come possibile interpretazione dei cambiamenti, del divenire dei viventi (si pensi al tema dell'origine di nuove specie oggi affrontato attraverso un approccio multidisciplinare).

Abilità in libera uscita

Si potrebbero immaginare grandi difficoltà di comprensione da parte degli studenti condotti a visitare la mostra. Invece, stando in loro compagnia è interessante notare come anche i più piccoli, se opportunamente guidati – e se lasciati liberi di intervenire! – propongano domande rilevanti sui nuclei centrali della teoria dell'evoluzione: per esempio sul significato e l'azione reale della selezione naturale, sulla nascita di nuove specie, sulla biodiversità, sul significato della sistematica. Immersi in un contesto ricco e affascinante, riescono in maniera inaspettata a cogliere problemi difficili anche per l'adulto, come il ruolo dell'adattamento nella teoria evolutiva («che cosa serve questa struttura?») e la perfezione/imperfezione delle strutture viventi. Perché queste abilità dei ragazzi emergano in pieno, tuttavia, è assolutamente centrale concepire la visita prevedendo momenti liberi di riflessione e problematizzazione da parte dello studente: momenti nei quali si scoprono aspetti nuovi e, in alcuni casi, le nuove linee di sviluppo della ricerca moderna.

Il contesto culturale e didattico

Sempre più spesso, purtroppo, i ragazzi si confrontano con un clima culturale (esasperato in alcune situazioni dai mass media) che tende genericamente alla semplificazione e a rendere stereotipata la conoscenza, annullandone gli aspetti

problematici a favore di quelli più rassicuranti. Pensiamo alle tante informazioni sbagliate sulla teoria darwiniana: l'origine dell'uomo dalla scimmia o l'idea, ancora molto diffusa, del progresso evolutivo e dell'aumento della complessità dei viventi. Oltre a questo, c'è il fatto della esasperazione di alcuni temi o personaggi, che a volte sono interpretati e descritti in modo stereotipato, come è successo per Darwin, scienziato invece multiforme e per alcuni versi contraddittorio. Il grosso rischio dell'intervento dei mass media sui soliti «temi darwiniani» (vedi la selezione naturale come prevalenza del più forte o l'adattamento come perfezione dei viventi) è il mancato approfondimento degli aspetti più problematici dei temi fondanti della teoria evolutiva. Tutto ciò, unito al fatto che l'attenzione dello studente non è sempre altissima, può portare a semplificazioni eccessive e ad assimilazioni concettuali che non tengono conto della necessaria integrazione tra diversi livelli di complessità (nel caso specifico dell'evoluzione, l'integrazione tra i livelli cellulare, individuale e di specie). Del resto, la responsabilità non è tutta degli studenti: non dimentichiamo che le teorie biologiche più complesse, come quelle di Darwin e della moderna biologia evolutivista, sono criticamente comprensibili e assimilabili solo in tempi lunghi. A mio parere, inoltre, occorre sempre mantenere un parziale nucleo di «incomprensione», fondamentale per suscitare interesse e passione per l'argomento e per sviluppare analisi approfondite: d'altronde il programma di ricerca della teoria evolutiva non si è ancora concluso, come ben evidenziano anche alcuni passaggi della mostra *Darwin 1809-2009*.

Conoscenze durature

Ecco allora che una mostra come questa, ben organizzata specialmente nella parte storica iniziale e in grado di presentare un sistema riconfigurabile di informazioni e teorie, può costituire un'opportunità irripetibile per stimolare l'esercizio di un pensiero complesso e sistemico – che

costituisca una rete aperta di collegamenti tra discipline diverse – e per sistematizzare le conoscenze in vista delle novità future.

Durante le visite all'esposizione con i miei studenti ho cercato di far conoscere il personaggio Darwin attraverso la sua visione della vita, il suo «lungo ragionamento», i suoi dubbi, la sua capacità di avere rapporti con la comunità scientifica, specialmente con le persone critiche nei confronti della sua teoria, ma intellettualmente oneste. Una cosa che ha appassionato ogni studente è stato l'intreccio tra la vita – il ruolo centrale della moglie Emma Wedgwood e della famiglia per esempio – e le scoperte del grande scienziato, conscio dei limiti e dei problemi aperti a tante soluzioni generati dal proprio programma di ricerca.

Solitamente, le mostre che appassionano di più sono quelle che originano influenze quasi permanenti, caratterizzate da momenti didattici successivi alla visita: in questo caso il docente avverte che l'esperienza non è stata una perdita di tempo (come purtroppo ancora tanti insegnanti dicono!), ma ha generato conoscenze che rimarranno sempre impresse nella memoria dell'allunno.

Scienza e storia

Una buona mostra su un personaggio scientifico di grande rilievo, però, non si limita a sottolineare la complessità del suo pensiero, ma offre anche un'altra occasione di grande rilevanza didattica: quella di approfondire i legami tra il processo di costruzione e «produzione» della scienza e il contesto storico in cui questo avviene.

Per una serie di motivi, principalmente storico-sociali, gli aspetti più «umani» del personaggio scientifico e la cornice del periodo nel quale opera e della società nella quale vive sono quasi sempre omessi nella didattica scolastica e nei libri di testo. Ecco allora che una mostra sull'opera di uno scienziato appare un momento unico di discussione critica: lo studente, in maniera libera e individuale, può riuscire a comprendere, anche attraverso particolari minimi, la genesi di



↑ Atto regio con cui Charles Darwin viene nominato accademico dei Lincei, esposto alla mostra Darwin 1809-2009.

una teoria, il suo rapporto con il momento storico in cui viene formulata e quello tra i vari membri della comunità scientifica. Purtroppo, questo aspetto, è spesso considerato secondario in una didattica ancora diffusa nella quale prevale una generale visione di progresso scientifico che attribuisce alle conoscenze moderne un significato di oggettività e di valore assoluto superiori rispetto a quelle più antiche, apparentemente superate. Quindi, la storia e il processo di sviluppo delle conoscenze scientifiche possono sembrare non importanti. Eppure, più volte mi è capitato di sentire domande profonde da parte degli studenti dopo aver osservato in una mostra un dettaglio storico apparentemente insignificante. Il caso della mostra *Darwin 1809-2009* è evidente: il visitatore si sente "immerso" nel personaggio Darwin, attraverso i suoi scritti e gli oggetti – naturali e non – che ne hanno influenzato il pensiero e lo hanno portato a costruire una nuova teoria e un programma di ricerca rivoluzionario. La "genialità" di una persona unica e irripetibile, lontanissima

rispetto alle nostre capacità e potenzialità, è sostituita, nella mente del visitatore, da una figura più comprensibile e "umana", molto più vicina a noi. Lo studente può interpretare lo scienziato come una persona "in carne e ossa" e percepire le sue scoperte anche attraverso le emozioni provate, ripetibili nella propria mente.

L'importanza del senso comune

L'importanza dell'aspetto storico nella didattica della scienza risiede nel fatto che le scoperte hanno un significato proprio nello svolgersi della conoscenza e nell'intreccio dei rapporti tra i membri delle comunità scientifiche; chi scopre qualcosa di nuovo è attento al passato, lo conosce, lo apprezza, comprende che gli errori del passato potrebbero essere ripetuti e che gli scienziati, come le persone comuni, vivono nella loro esistenza una serie di contingenze irripetibili. Ecco perché ritengo che dobbiamo proporre un atteggiamento scientifico nella didattica che sia analogo a quello del ricercatore che conosce (o

dovrebbe conoscere) tutto quello che è stato pubblicato sull'argomento che sta studiando; gli studenti di solito sono ben disposti, nella mia esperienza, allo studio storico e sono interessati alle caratteristiche psicologiche dello scienziato, al suo mondo. In fondo l'esperienza di ogni persona, e anche il cosiddetto "senso comune", è qualcosa di iniziale per formare un proprio metodo scientifico, per renderlo fruibile a chiunque interessato, per cominciare ad acquisire strumenti di indagine critica. Il biologo evoluzionista Thomas Henry Huxley, amico di Darwin, autore di tanti libri sulla teoria dell'evoluzione e appassionato educatore e divulgatore, lo sapeva perfettamente! «La Scienza è, io credo, nient'altro che senso comune praticato e organizzato, che differisce da questo solo come un veterano può differire da una recluta: e i suoi metodi si differenziano da quelli del senso comune solo come la schermaglia di un soldato differisce dal modo in cui un selvaggio maneggia il suo bastone» [1]. ➔

RISORSE



1. H.A. Huxley, *Aphorisms and reflections. From the Works of T. H. Huxley*, Mac Millan and Co, London 1907, p. 17.



GIORGIO NARDUCCI

è biologo, docente di scienze in un liceo classico statale di Roma, divulgatore e formatore in ambito scientifico. Si interessa di teoria dell'evoluzione, collabora con diversi musei di scienze naturali ed è fondatore dell'Associazione Bramea e del Circolo Gould. Sta partecipando al progetto ISS (Insegnare scienze sperimentali) del Ministero della pubblica istruzione.

«**A**nimale simbolico»: così il filosofo tedesco Ernst Cassirer definì l'uomo, per la sua capacità esclusiva di comunicare tramite immagini, metafore, simboli utilizzati in sostituzione di idee o concetti. E proprio un simbolo dall'incredibile pervasività è il protagonista della nostra storia: una fila di scimmioni con, all'estrema sinistra, un essere peloso, piccolo e gobbo e, all'estrema destra, un individuo alto, muscoloso, eretto e quasi glabro, cioè un esemplare maschio adulto di *Homo sapiens*, rigorosamente dalla pelle bianca. In mezzo, una serie più o meno lunga di primati sempre meno gobbi e pelosi, il penultimo dei quali (in genere un capellone barbuto dallo sguardo truce e spento) spesso rappresenta l'uomo di Neanderthal. Questo simbolo, noto come

“marcia del progresso”, nell'immaginario comune costituisce la rappresentazione canonica del processo evolutivo della nostra specie: una successione di eventi, connessi tra loro come gli anelli di una catena e tendenti verso il risultato finale, per noi esseri umani necessariamente migliore. Non è un caso se la tendenza verso il conclusivo *happy end*, l'ottimismo, la permeante visione di continua progressione suggerita da questo simbolo, portò il grande evoluzionista americano Stephen Jay Gould a indicare la marcia del progresso come «iconografia della speranza».

Il papà della marcia

L'illustratore americano Rudolph Franz Zallinger (1919-1995) è riconosciuto come il padre della rappresentazione.

Nella sezione intitolata “The road to Homo sapiens” del volume divulgativo *Early Human*, pubblicato nel 1965 su commissione della rivista “Time”, Zallinger realizzò l'illustrazione che sarebbe diventata famosa come la “marcia del progresso”: 15 figure stilizzate di ominidi che descrivono una storia di 15 milioni di anni (allora, questa era la stima della divergenza tra uomo e scimpanzé, che successivamente sarebbe stata dimezzata). Sebbene l'immagine originale fosse una serie lineare, delle note a corollario indicavano come alcuni anelli della catena fossero in realtà rami laterali o vicoli ciechi del processo evolutivo. Insomma, nell'immagine di Zallinger, non tutti e 15 gli ominidi erano uno discendente dell'altro: con il tempo, però, le precisazioni

LA MARCIA DEL PROGRESSO



Scimmie e ominidi in fila: un collezionista di “iconografie della speranza” ci propone un commento sulla straordinaria potenza e sull'ampia diffusione di un simbolo tanto famoso quanto scorretto.



MAURIZIO CASIRAGHI

↳ Dalla scimmia al ciclista. Un esempio di murales “evolutivo” dalla collezione di Maurizio Casiraghi.



si sono perse ed è rimasto il simbolo della serie progressiva. Da anni mi diverto a collezionare immagini di marce del progresso. L'attività è partita quasi per scherzo, ma ormai non riesco a vedere una marcia senza cadere nella tentazione di raccogliarla e conservarla. Non è certo una ricerca difficile, e la collezione è piuttosto nutrita. Eppure, non sono ancora riuscito a trovare l'immagine originaria di Zallinger: sembra però che in un libro di Stephen Jay Gould (*La vita meravigliosa*, Feltrinelli, Milano 2007, p. 26) si trovi la versione che più le si avvicina.

Cugini e conviventi

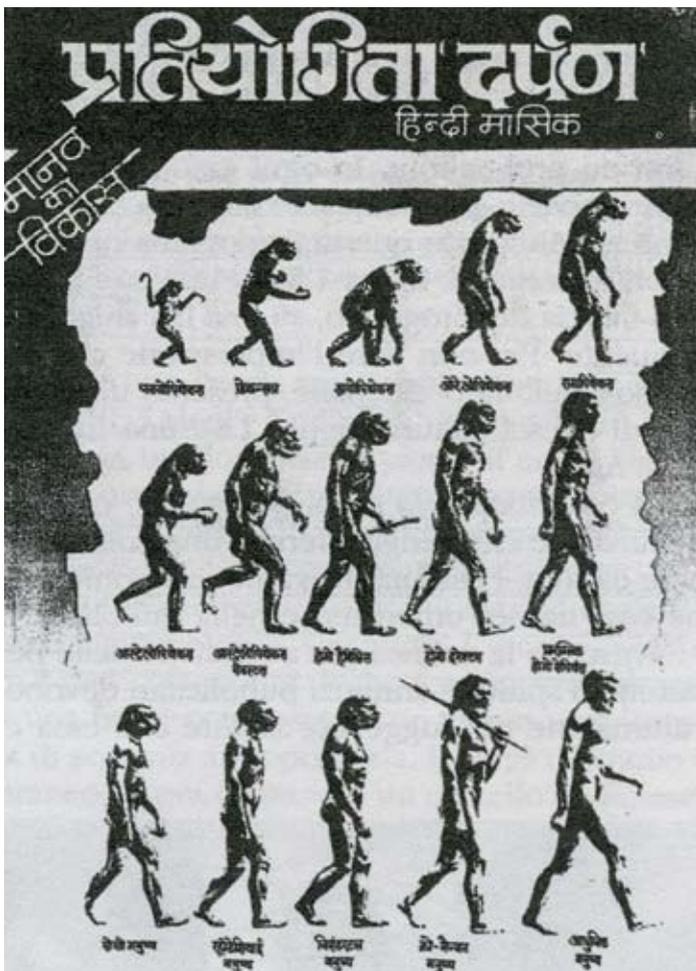
I biologi evuzionisti sono molto critici nei confronti della marcia del progresso, soprattutto quando alla base della scala si trova uno scimpanzé. Esseri umani e scimpanzé, infatti, condividono "solo" un comune antenato. Intendiamo subito: esiste chiaramente una linea di discendenza che lega sia noi sia lo scimpanzé fino al nostro antenato

comune. Su questo non ci sono dubbi e il sequenziamento dei due genomi lo ha confermato. Quindi, gli scimpanzé sono nostri cugini, ma non certo nostri progenitori. Del resto, ben prima della genetica, anche lo studio dei fossili di ominidi ci ha mostrato che la successione lineare è una semplificazione lontana dalla realtà. Negli ultimi 6 o 7 milioni di anni, infatti, il nostro pianeta ha ospitato contemporaneamente ben più di una specie di ominide. Solo in epoca molto recente la nostra specie è rimasta sola. Alla luce delle attuali conoscenze, riteniamo che solo 30 000 anni fa (un'inezia dal punto di vista dei tempi dell'evoluzione) fossero presenti almeno tre specie del genere Homo: *H. sapiens* (la nostra), *H. neanderthalensis* (l'uomo di Neanderthal, estintosi in Europa forse 25 000 anni fa) e *H. floresiensis* (l'uomo di Flores, un'isola indonesiana, anche noto come "hobbit" per le ridotte dimensioni e estintosi solo 13 000 anni fa). Spero di non sfatare un mito affermando che

l'uomo di Neanderthal non è un nostro antenato, dato che siamo stati presenti insieme sulla Terra per molto tempo. Noi e i Neanderthal siamo semplicemente due specie del cespuglio evolutivo degli ominidi. Da tempo non siamo nemmeno più considerati due sottospecie, ma quanta fatica ci costa digerirlo! Non sarà che ci piace così tanto definirci *sapiens sapiens* da non riuscire a farne a meno?

Il corallo della vita

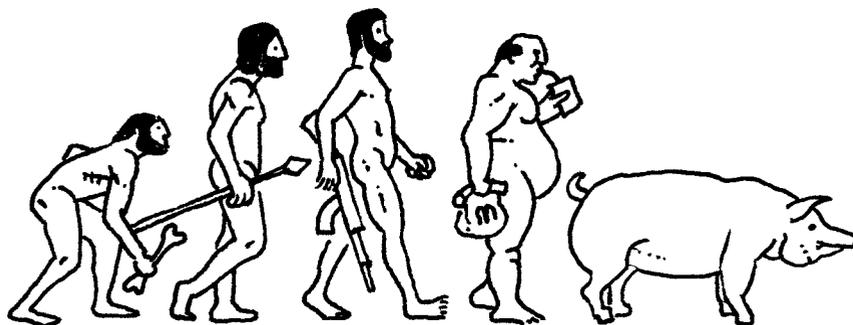
Un altro dei motivi che rendono la marcia del progresso scorretta dal punto di vista biologico è il fatto che essa rappresenta un'evoluzione di tipo teleologico, cioè finalista, come se nell'evoluzione ci fossero risultati a cui giungere. A rischio di incrinare qualche altra radicata certezza, va sottolineato che noi esseri umani non siamo il risultato finale di 4 miliardi di anni di evoluzione di vita sulla Terra. Il mondo non si è preparato a lungo per noi e non era in trepidante attesa per il nostro arrivo. "Qui e ora" ci siamo capitati per una serie di fatti contingenti, e la vita sulla Terra continuerà anche dopo di noi. Essere "qui, ora" non significa dunque essere migliori di chi ci ha preceduto. Siamo solo arrivati dopo, adattandoci alle condizioni che abbiamo trovato. Già Charles Darwin aveva cercato di trasmetterci una visione tutt'altro che finalista dell'evoluzione: «La selezione naturale, o sopravvivenza del più adatto, non comporta necessariamente uno sviluppo progressivo – essa si limita a



👉 Copertina di una rivista scientifica per ragazzi acquistata in India da Stephen Jay Gould e riprodotto in *La vita meravigliosa* (Feltrinelli, Milano 2007, p. 26).

👇 Altro esempio di murales con marcia del progresso.





trarre vantaggio da quelle variazioni che si manifestano spontaneamente e risultano vantaggiose per ciascun vivente nei suoi complessi rapporti con l'ambiente» [1]. Ecco, allora, il nostro passato. Assomiglia molto più a una tortuosa strada di montagna con molti bivi, piuttosto che a un'autostrada. Neppure quella dell'albero, tutto sommato, è una raffigurazione sufficientemente precisa: meglio ancora un cespuglio o, come scriveva Darwin sui suoi taccuini, un corallo.

Il successo di un simbolo

Se la marcia del progresso è l'immagine evocativa dell'evoluzione, possiamo tranquillamente affermare che il concetto di sopravvivenza del più adatto sia, nel pensiero comune, la sua interpretazione teorica. Anche la sopravvivenza del più adatto è un simbolo molto diffuso, ma scorretto, dell'evoluzione, ancora una volta dominato da una visione migliorativa. Il biologo evoluzionista inglese Richard

Dawkins si riferirebbe alla marcia del progresso e alla sopravvivenza del più adatto come a "memi" di successo. Un meme è una singola unità culturale (un'idea, un'immagine, una ideologia) che sia trasmissibile da una mente a un'altra. I memi di successo sono quelli che si diffondono tra molti rappresentanti di una specie. Non è necessario che l'idea sia corretta o realmente migliore di altre, ciò che ne misura il successo è la sua diffusione. Secondo questo metro, è chiaro che l'iconografia della marcia del progresso e il concetto di sopravvivenza del più adatto sono due memi vincenti. Al punto che la marcia riesce a ritagliarsi uno spazio vastissimo nella massima rappresentazione dell'animale simbolico: la società che agli occidentali piace definire "dell'immagine". Ovunque sia necessario sottolineare un passaggio dal rozzo al sofisticato, dall'antico al moderno, dal brutto al bello, la marcia è pronta a fare la sua comparsa, sia che si tratti del

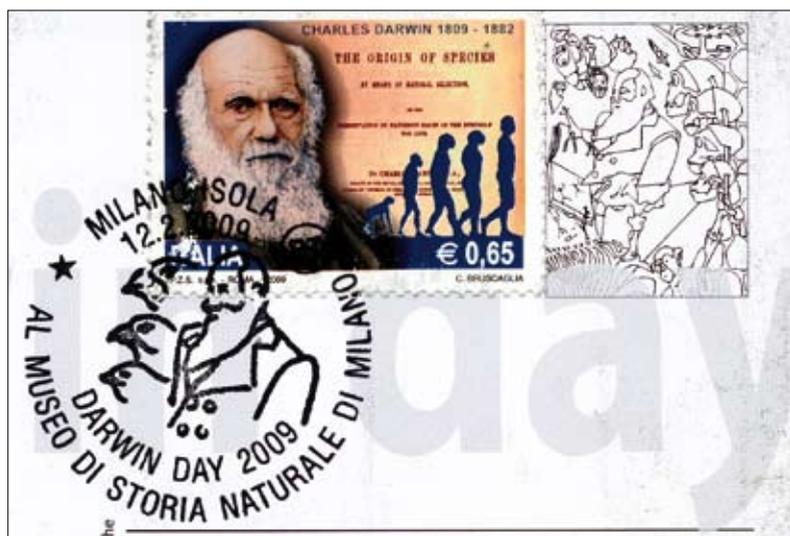
logo di enti o di mostre (anche in musei scientifici), sia che si tratti di pubblicità (una nota birra irlandese è protagonista di una delle iniziative più riuscite). E anche la satira non ha resistito alla tentazione di sfruttarne la potenza evocativa. Sotto la lente critica sono quindi finite le nostre abitudini alimentari o lavorative, il nostro essere guerrafondai, la nostra pigrizia, il dibattito con i creazionisti e la lista potrebbe continuare a lungo. Per finire, vorrei ricordare un'iniziativa tutta italiana e molto recente. Per celebrare i 200 anni dalla nascita di Charles Darwin, avvenuta il 12 febbraio 1809, il nostro paese ha deciso di dedicare un francobollo all'insigne studioso. Peccato che, accanto alla classica rappresentazione di un canuto Darwin, spicchi sul francobollo la famigerata marcia del progresso. Non c'è nulla da fare: quella fila di scimmie e ominidi costituisce un meme davvero troppo efficace. Riuscire a liberarsene sembra ancora un traguardo lontano. 🟡



MAURIZIO CASIRAGHI

è ricercatore in zoologia e docente di evoluzione biologica e molecolare presso il Dipartimento di biotecnologie e bioscienze dell'Università di Milano Bicocca.

🟡 **Francobollo celebrativo per il compleanno di Darwin. Anche qui spicca la silhouette della marcia.**



RISORSE

1. C. Darwin, *L'origine delle Specie*, Newton Compton, Roma 1989.

PER APPROFONDIRE

— R. Dawkins, *Il gene egoista*, Mondadori, Milano 1994.

— G. Manzi, *L'evoluzione umana*, Il Mulino, Bologna 2007.

— T. Pievani, *La teoria dell'evoluzione*, Il Mulino, Bologna 2006.

RICERCA E NON SOLO

Dopo la laurea, percorsi a confronto

Matematica

ULISSE STEFANELLI

Pavese, 33 anni, è ricercatore senior all'Istituto di matematica applicata e tecnologie informatiche (Imati) del Cnr, con sede a Pavia.



STEFANIA VERGARI

Ha 34 anni e vive a Nord di Roma. È Capitano dell'Aeronautica militare, impiegata nel servizio meteorologico dell'Aeronautica.

Qual è stato il tuo percorso di studi?

Diploma di liceo scientifico, laurea in matematica e dottorato di ricerca in matematica e calcolo scientifico, tutto a Pavia. Durante il dottorato, ho trascorso lunghi periodi all'estero: Stati Uniti, Francia, Germania.

Diploma in un istituto professionale per segretaria d'azienda a Roma. Poi, laurea in matematica e dottorato di ricerca in ingegneria dei sistemi all'Università di Roma La Sapienza. Sono stata per tre mesi *visitor researcher* al Georgia Institute of Technology di Atlanta.

Quando hai deciso di studiare matematica? Che cosa ti ha influenzato?

Prima mi sono iscritto a fisica: al liceo ero stato in visita ai cantieri di LHC, a Ginevra e mi era sembrato un progetto a cui prestare particolare attenzione. A fisica, però, sono stato quasi subito "folgorato" da uno straordinario docente di analisi matematica, che mi ha convinto che non potevo diventare altro che un analista.

Durante la scuola superiore ho realizzato di voler proseguire gli studi. Ero attratta dalle materie scientifiche e ho scelto matematica per differenziarmi dal resto della mia famiglia (ho un fratello laureato in fisica e una cognata laureata in chimica).

Che cosa ti aspettavi da questa disciplina?

Di saperne sempre di più e di mettere alla prova le mie capacità logiche. Mi sembrava la scelta più elegante e contemporaneamente difficile che potessi fare.

Speravo che mi avrebbe permesso di trovare lavoro abbastanza facilmente.

Le tue aspettative sono state soddisfatte?

Certo, e non solo: negli anni del corso si sono aperti nuovi scenari di studio e si sono create altre aspettative.

Direi di sì: mi sono laureata nel maggio 2000, a giugno ho cominciato il dottorato e subito dopo sono entrata nell'Aeronautica.

Che cosa hai fatto dopo la laurea? È quello che avresti voluto fare?

Dopo la laurea non avevo le idee chiarissime sul mio futuro. Però mi sono laureato in estate e non era il momento migliore per cercare lavoro così, anche un po' per caso, ho cominciato a prepararmi per l'esame di ammissione al dottorato, che poi ho superato.

Dopo la laurea avrei voluto cominciare a lavorare; durante la tesi, però, avevo preso contatti con un gruppo di ricerca in ingegneria dei sistemi, il cui responsabile mi ha suggerito di partecipare al concorso di dottorato. Questo mi ha permesso di avere una visione più approfondita del mondo accademico.

Qual è stato il tuo primo lavoro?

Direi il dottorato, perché da allora in avanti non ci sono stati grandissimi cambiamenti nella mia attività di ricerca. Anche se, ovviamente, sono cambiati nel tempo la stabilità della mia posizione e lo stipendio.

Il dottorato. Mi occupavo di modellistica e controllo di qualità applicati a sistemi di telefonia mobile. Presto mi sono resa conto che non c'era possibilità di rimanere in università, se non dopo lunghissimo precariato; così ho cominciato a consultare la Gazzetta Ufficiale e quando ho trovato un bando di concorso per l'Aeronautica militare (cercavano laureati in matematica, fisica o scienze navali) ho deciso di partecipare.

Oggi di che cosa ti occupi?

Mi sono sempre occupato di matematica applicata, cioè della risoluzione di problemi differenziali suggeriti da questioni ingegneristiche e fisiche. All'inizio, però, studiavo transizioni di fase da solido a liquido, mentre oggi studio il comportamento di alcuni materiali. Anche i miei metodi di indagine si sono raffinati.

Di sperimentazione su strumentazione meteorologica: in pratica, si tratta di controllo qualità su misure sperimentali, per fare in modo che i dati acquisiti dagli strumenti e poi divulgati siano conformi a standard previsti dalla comunità internazionale.

Che cosa ti piace di più del tuo lavoro di oggi?

Vari aspetti: è eccitante e avventuroso perché si lavora sempre ai confini della conoscenza; prevede una comunicazione continua con altri scienziati; richiede soggiorni anche lunghi all'estero, permettendo così di conoscere altri Paesi. Mi entusiasma anche la possibilità di trasmettere le mie conoscenze ai più giovani attraverso l'insegnamento.

Non è mai noioso o ripetitivo. In sei anni passati all'Aeronautica ho fatto diversi lavori, tra cui le previsioni meteorologiche per i mass media e ricerche in ambito climatologico, con analisi delle serie storiche di dati.

Come ti vedi in futuro?

Sempre più impegnato, anche in termini di responsabilità. E, spero, coinvolto in problemi sempre più difficili.

Probabilmente con un ruolo meno operativo e più gestionale, che in genere si acquisisce avanzando di carriera.

Quali sono i tuoi interessi al di fuori del lavoro?

Stare con mia moglie e mia figlia e praticare sport all'aria aperta.

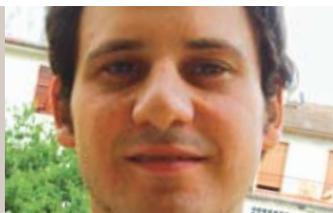
Ho un bambino piccolo e un altro in arrivo: non ho più molto tempo libero!



Scienze naturali

GIULIO CATALANO

Originario di Palermo ora vive a Firenze, lavorando all'università come assegnista di ricerca. Ha 29 anni.



VERA PIANETTA

Ha 34 anni ed è socia fondatrice dello studio naturalistico associato Selva (www.studioselva.net). Vive nell'Oltrepò pavese.



Qual è stato il tuo percorso di studi?

Liceo classico a Palermo, laurea in scienze naturali sempre a Palermo e dottorato di ricerca in scienze antropologiche all'Università di Firenze. Durante il dottorato sono stato per sei mesi a Barcellona per un corso di perfezionamento.

Istituto tecnico agrario a Voghera (provincia di Pavia), laurea in scienze naturali a Pavia e alcuni corsi di aggiornamento gestiti dalla provincia di Pesaro-Urbino presso l'Università del Bosco.

Quando hai deciso di studiare scienze naturali? Che cosa ti ha influenzato?

Durante il liceo ho cominciato a interessarmi all'antropologia e in particolare alla sua componente evolutiva e alla paleoantropologia, anche grazie alla lettura di articoli divulgativi su giornali e periodici. Scienze naturali, almeno a Palermo, mi sembrava l'unico corso di laurea che offrisse la possibilità di studiare questi temi.

Già da bambina sognavo di lavorare nella natura, con piante e animali, benché non sapessi dare un nome a questo lavoro. Alla fine delle superiori ho scelto scienze naturali, anche se molti me lo sconsigliavano dicendo che non offriva sbocchi, perché volevo studiare quello che effettivamente mi appassionava.

Che cosa ti aspettavi da questa disciplina?

Avevo un'idea abbastanza precisa di quello che avrei studiato e delle materie che mi sarebbero piaciute (oltre ad antropologia, paleontologia, geografia astronomica, biologia molecolare) perché conoscevo diverse persone – tra cui i miei genitori – laureate in scienze naturali.

Di conoscere da un punto di vista propriamente scientifico piante, animali e ambienti.

Le tue aspettative sono state soddisfatte?

Sì, soprattutto perché ho avuto la possibilità di fare davvero ricerca in ambito antropologico.

Sono stata un po' delusa dall'università: secondo me aiuta a imparare, ma non offre una cultura e una conoscenza pratica paragonabili a quelle che si acquisiscono con l'esperienza. Però sono soddisfatta della scelta compiuta, anche perché mi ha portata al lavoro di oggi.

Che cosa hai fatto dopo la laurea? È quello che avresti voluto fare?

Durante gli ultimi anni di università, il mio professore di antropologia a Palermo mi aveva indirizzato presso un laboratorio di Firenze, dove ho svolto alcune ricerche utili per la tesi. Dopo la laurea, ho deciso di partecipare al concorso di dottorato per continuare a lavorare in quel laboratorio.

Ho iniziato subito a lavorare con due compagne di studi. All'inizio ci proponevamo come guide naturalistiche, poi abbiamo cominciato a strutturare progetti di educazione ambientale che presentavamo a enti e associazioni: abbiamo anche preso in gestione alcuni parchi. Nel 2002, forti di queste esperienze, abbiamo fondato il nostro studio naturalistico.

Qual è stato il tuo primo lavoro?

Direi il dottorato, anche se era uno di quelli "senza borsa di studio", cioè non retribuito. Nonostante questa condizione, ho voluto (e potuto) frequentarlo ugualmente, considerandolo un utile periodo formativo.

La guida naturalistica: lo facevo già prima di laurearmi, insieme ad altri laureati meno specializzati.

Oggi di che cosa ti occupi?

Di paleogenetica, cioè di analisi di DNA di reperti fossili (in particolare di *Homo sapiens* e *H. neanderthalensis*). Si estrae il DNA da campioni anche di 50 000 anni e lo si utilizza per analisi filogenetiche o per ottenere informazioni sulle caratteristiche di antiche popolazioni. Abbiamo scoperto che i Neanderthal potevano avere pelle chiara e capelli rossi.

Attualmente lo studio Selva lavora in tre campi principali: educazione ambientale (turismo naturalistico, eventi per parchi e riserve, progetti con le scuole), interventi tecnici (studi di impatto ambientale, relazioni paesaggistiche), divulgazione (fotografia naturalistica, mappe e illustrazioni, cartine per parchi ecc.)

Che cosa ti piace di più del tuo lavoro di oggi?

L'interdisciplinarietà: posso utilizzare tecniche e conoscenze che vengono dalla biologia molecolare, dalla genetica, dalla paleontologia.

Ho trasformato una grande passione in un lavoro, quindi tutto. Compreso il fatto di lavorare con delle amiche: nei momenti di stress aiuta a ritrovare la calma.

Come ti vedi in futuro?

Mi piacerebbe continuare a fare ricerca: sarebbe bello riuscirci restando in Italia.

Non lo so. Sicuramente la nostra "bambina" Selva deve continuare a crescere, ma non è prevedibile come: siamo libere professioniste e la continuità non è garantita. Mi piacerebbe ampliare i servizi offerti e le zone in cui lavorare: adesso abbiamo in cantiere un progetto in Mali.

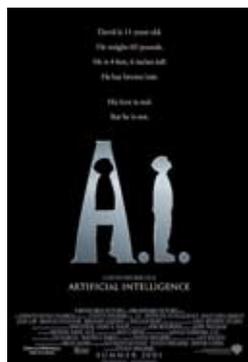
Quali sono i tuoi interessi al di fuori del lavoro?

Lettura e cinema, ma per via del lavoro non ho molto tempo libero.

Escursioni, fotografia e disegno naturalistici, etnologia: tutti legati al lavoro!

A.I. INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Andrea Bonarini critico cinematografico per un giorno



Titolo A.I.-Intelligenza artificiale
Titolo originale A.I.-Artificial Intelligence

Genere Fantascienza/
drammatico

Anno 2001

Produzione Amblin Entertainment, DreamWorks SKG, Stanley Kubrick Productions, Warner Bros

Distribuzione Warner Bros

Regia Steven Spielberg

Cast Haley Joel Osment, Jude Law, Frances O'Connor, William Hurt, Ben Kingsley, Chris Rock, Meryl Streep, Robin Williams

Soggetto scientifico Robotica, intelligenza artificiale

LA TRAMA

In un futuro prossimo, sono stati sviluppati robot umanoidi praticamente perfetti (*mechas*), a cui manca la capacità di provare emozioni. Il progettista capo della Cybertronics riesce a realizzare anche questo obiettivo (il suo sogno), producendo David, un bambino robot in grado di amare. David viene assegnato a una coppia il cui figlio è in animazione sospesa a causa di una malattia. La madre "adottiva" Monica dapprima lo rifiuta, ma poi fa sì che il robot cominci ad amarla come madre, attivandone una speciale funzione (*imprinting*).

I rapporti familiari funzionano bene fino a quando si trova una cura per il vero figlio di Monica, che può così tornare a casa. La nuova rivalità con il bambino spinge David a compiere inconsciamente azioni pericolose. Invece di farlo distruggere (come suggerito dalla Cybertronics), Monica lo abbandona. Mentre cerca di tornare a casa, David incontra un altro umanoide, Gigolo Joe, e i due sono catturati come vittime per la "Fiera della Carne", una fiera in cui gli esseri umani distruggono i mechas in maniera spettacolare, per proclamare la loro superiorità. Grazie alle sue sembianze umane, David riesce a salvarsi e, sempre con Joe, va a cercare la Fata Turchina che potrebbe far diventare David-Pinocchio un bambino vero. Joe viene catturato e David si trova solo, davanti a una statua della Fata Turchina a cui chiede insistentemente di diventare un bambino vero... per 2000 anni.

Dopo tutto questo tempo, l'umanità si è estinta. I mechas, ancora più evoluti, ritrovano David e, grazie alla sua memoria, ricostruiscono la sua casa e riportano in vita Monica per un solo giorno: abbastanza per scambiare con David la tanto sospirata dichiarazione di amore.

IL COMMENTO

Il film si sviluppa intorno a una delle domande classiche per la robotica e l'intelligenza artificiale: possono le macchine provare emozioni? All'inizio, e con la figura di Gigolo Joe, si capisce come gli autori diano per scontato che sia possibile realizzare macchine in grado di *mostrare* emozioni del tutto simili a quelle degli esseri umani. Il comportamento di David vorrebbe dimostrare che lui, invece, è in grado di *provare* vero amore, fino a compiere azioni irragionevoli (e pericolose, in contrasto con le leggi della robotica di Asimov, che han regolato la vita dei robot nella fantascienza negli ultimi 50 anni) pur di conquistare l'amore della madre.

Si può discutere su quale sia la differenza tra *provare* amore e *mostrare* amore, e ancora di più sull'utilità che potrebbe avere una macchina che *prova* amore fino a diventare pericolosa. Nel film, mentre un mecha "normale" come Gigolo Joe mostra atteggiamenti amorosi in maniera più che sufficiente a soddisfare le sue clienti, per David si vuole mettere in evidenza come solo dopo l'operazione di attivazione del "vero amore" compiuta da Monica, il mecha possa lasciare la sua freddezza quasi idiota e inquietante a favore di atteggiamenti più umani. Questo viene evidenziato attribuendo a David un nuovo particolare tono di voce nel



ANDREA BONARINI

è responsabile del Laboratorio di intelligenza artificiale e robotica del Politecnico di Milano. Tra le tematiche in cui opera si trovano: lo sviluppo di robot autonomi e di robot per il gioco e l'*edutainment*, l'analisi di emozioni per *affective computing*, i sistemi di apprendimento automatico.



ARCHIVES DU TEME ART - PHOTO12

Il robot David in un'immagine del film.

GALATEO PER ROBOT

Nell'antologia di racconti *I, robot*, pubblicata per la prima volta nel 1950, lo scrittore Isaac Asimov enuncia le tre leggi della robotica, leggi che regolano il comportamento dei robot e che diventano ben presto un punto di riferimento per tutta la letteratura di genere. Ecco:

1. un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa del proprio mancato intervento, un essere umano riceva danno;
2. un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla prima legge;
3. un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questo non contrasti con la prima e con la seconda legge.

momento in cui chiama Monica «mamma». Nulla, però, avrebbe vietato di mostrare questo comportamento anche prima dell'imprinting, che sembra avere la sola funzione di impegnare l'essere umano in un rapporto per il quale il mecha è già pronto. In altri film che coinvolgono robot, come *Guerre stellari*, *Corto circuito* o *L'uomo bicentenario*, i robot sono naturalmente coinvolti in rapporti affettivi e, anche se hanno sembianze meno umane, sono decisamente più credibili, ed efficaci nell'operare, di David. I robot di oggi sono ancora molto lontani da ciò che viene mostrato nel film. I robot industriali eseguono meramente il compito per cui sono programmati: non sono nulla più di macchine di cui siamo contenti. Robot con sembianze umane sono stati realizzati, ma hanno ancora movimenti innaturali e nessuna forma di intelligenza, risultando addirittura più inquietanti di robot evidentemente meccanici. Altri sono dotati della capacità di far fronte a situazioni inattese, in modo da svolgere autonomamente compiti in un ambiente naturale quale potrebbe essere la nostra casa, un'ospedale, o un terreno di guerra. Questi robot possono prendere decisioni, ma il loro libero arbitrio è limitato dalle loro scarse capacità sensoriali e dai limiti intrinseci dei loro sistemi di ragionamento, per lo più orientati al raggiungimento di semplici obiettivi pratici: tutto un altro livello rispetto al "compito" di ottenere l'amore di una madre. In particolare, non sono in grado di capire le sottili implicazioni necessarie per soddisfare le leggi della robotica, né tanto meno di impegnarsi in rapporti affettivi "veri". Ottenere robot come David, ma anche solo come Gigolo Joe oppure come C-3PO o R2-D2 ("personaggi" di *Guerre stellari*), resterà un sogno ancora per molti anni. ●

IN RETE!



Il film Scheda dell'Internet movie database. www.imdb.com/title/tt0212720



SCIENZA AL CENTRO

Invito ai lettori

Film, spettacoli, libri, CD, siti web: che siano grandi classici oppure novità dell'ultimo minuto, la scienza è al centro di moltissimi eventi o prodotti. Ci piacerebbe che foste voi lettori – docenti, studenti o classi intere – a dar vita a questo spazio. Potete inviarci le vostre segnalazioni, accompagnate da un commento originale, all'indirizzo redazione@linxmagazine.it.

LIBRI

Studiare (fisica) da presidenti

Una lettura fondamentale per chi "da grande" vuole diventare capo di governo (ma anche per chi vuole semplicemente essere informato sulle principali questioni scientifiche e tecnologiche dei nostri tempi): si tratta di uno scorrevole saggio scritto dal fisico Richard Muller sulla base delle lezioni di un corso omonimo – *Fisica per i presidenti del futuro*, appunto – che Muller tiene all'Università di Berkeley, in California. Il punto di partenza del fisico, anche consigliere del Dipartimento della difesa e di quello dell'energia degli Stati Uniti, è semplice: tutti diamo per scontato che un capo di governo conosca bene alcuni

aspetti di economia, di politica internazionale o di legislazione. Oltre a questo, però, un buon presidente dovrebbe anche avere una giusta conoscenza di temi scientifici sui quali è probabile che venga chiamato a decidere. Per esempio: energia e fonti rinnovabili, ricerca spaziale, cambiamenti climatici, nucleare e terrorismo. Così, alla grande maggioranza di politici che non sono laureati in fisica (fa eccezione il cancelliere tedesco Angela Merkel), Muller offre alcuni semplici "strumenti" di riflessione per orientarsi in ambiti spesso contraddittori. Non ci sono formule, ma ragionamenti e qualche dato, oltre a un'accurata smentita di alcuni falsi miti. E anche qualche soluzione da adottare, a partire dall'attenzione a

un tema fondamentale ma ancora troppo sottovalutato: il risparmio energetico. Un'ultima cosa: potete cercare le lezioni di Muller anche su *YouTube*.

Richard Muller
Fisica per i presidenti del futuro. La scienza dietro i titoli dei giornali
Codice edizioni, Torino
2009, pp. 323, € 26

L'astro narrante

Dove si incontrano scienza, letteratura e filosofia? Semplice: sulla Luna. Nell'anno di un duplice anniversario per il satellite terrestre – 400 anni da quando Galileo puntò verso la Luna il suo cannocchiale e 40 da quando l'astronauta Neil Armstrong lasciò la sua famosa impronta sul suolo lunare – il giornalista scientifico Pietro Greco dedica a questo particolare

ménage à trois una ricca panoramica di informazioni e riflessioni a cavallo tra queste varie discipline. A ulteriore dimostrazione, se ancora ce ne fosse bisogno, di quanto sia artificiale (e dannosa) la forzosa separazione tra le cosiddette due culture. Si parte da lontano, dalla considerazione per la Luna di popoli e filosofi dell'antichità (dai sumeri agli egizi, dai presocratici ad Aristotele) per arrivare ai grandi autori della nostra letteratura, che spesso hanno chiamato in causa il satellite. Così, ci sono capitoli dedicati a Dante (che, nel *Convivio*, presenta un particolare paragone tra la Luna e la grammatica), a Galileo naturalmente, a Giordano Bruno, a Giacomo Leopardi. E a Italo Calvino. Come non ricordare, per esempio, il

racconto "La luna di pomeriggio", in *Palomar?*

Pietro Greco
L'astro narrante. La luna nella scienza e nella letteratura italiana
Springer-Verlag Italia, Milano
2009, pp. 294, € 22

WEB

Matematica "vivente"

Matematica e arte. Ma anche matematica e ambiente, medicina, cosmologia, sport. Insomma: la matematica in tutto il suo splendore e le sue applicazioni: ecco il tema della rivista online (in inglese) *Plus magazine*, alla quale contribuiscono sia giornalisti scientifici sia ricercatori ed esperti. Ogni settimana il sito si arricchisce di nuove news, mentre la rivista vera e propria viene pubblicata (con pdf scaricabili) a cadenza trimestrale. Un'ottima occasione di



Novità dal pianeta vivente

Ci sono immagini spettacolari, come quella della lotta tra due lepri artiche, curiosità (per esempio: «Perché i fenicotteri amano stare su una zampa sola?»), video, audio, collegamenti a trasmissioni radiofoniche (come *Life stories* di David Attenborough), reportage di spedizioni in luoghi dall'incredibile fascino (le caverne Gomantong in Borneo, le foreste della Finlandia...) e, ovviamente, tantissime storie sulle ultime ricerche e novità che abbiamo a che fare con il nostro straordinario pianeta e con i suoi molteplici abitanti. Il tutto raccontato con semplicità e con grande rigore scientifico, come nella migliore tradizione della BBC. Stiamo infatti parlando del canale web della celebre emittente britannica interamente dedicato alla vita sulla Terra: *Earth news. Reporting life on Earth*. Il rischio è uno soltanto: "perdersi" per ore in compagnia dei segreti di piante, animali e ambienti straordinari.

http://news.bbc.co.uk/earth/hi/earth_news

aggiornamento e approfondimento (anche grazie ai podcast), e pure di orientamento.

Periodicamente, infatti, vengono intervistati matematici coinvolti nelle più diverse professioni, come Alexis Wajsbrot, specialista di effetti visivi in alcuni film della serie di *Harry Potter*, o Victoria Gould, ricercatrice e attrice di teatro, oppure Geoff Wilson, controllore per il traffico aereo militare. Ogni numero, inoltre, contiene uno speciale *teacher package*, con materiali didattici specifici su un certo argomento. La rivista organizza anche un concorso annuale aperto a studenti delle scuole superiori, studenti universitari e pubblico generale, per cercare nuovi "scrittori" in grado di rendere la matematica interessante anche per i non specialisti.

<http://plus.maths.org>

Lo YouTube della scienza

Inizialmente pensata dagli scienziati per gli scienziati, la tv scientifica online SciVee ben presto ha trovato nuovi spettatori e oggi è aperta a un pubblico vastissimo, che può trovare nei suoi molti video materiali per l'aggiornamento e l'approfondimento o anche soltanto per soddisfare qualche curiosità di scienza. Partiamo dagli scienziati: l'idea originaria era quella di fornire qualche strumento di comunicazione in più per diffondere i risultati del proprio lavoro. Per quanto necessari al processo di produzione scientifica, infatti, gli articoli scientifici sono spesso difficili da comprendere non solo per i non esperti, ma anche per colleghi non

specializzati; inoltre, anche chi voglia tenersi aggiornato non ha sempre il tempo di sfogliare tutta la letteratura di un certo settore. Sono nati così i *pubcast*, brevi video in cui un ricercatore spiega, in termini più o meno divulgativi, il contenuto di un suo articolo scientifico appena pubblicato. Lo stesso vale per i *postercast*, in cui invece si raccontano risultati non ancora pubblicati, ma già presentati a un congresso scientifico. Gli studiosi possono anche confrontarsi su un singolo argomento specialistico in *web communities* chiuse. Infine, ci sono video più divulgativi, dedicati agli argomenti più disparati: dall'utilizzo degli strumenti del Web 2.0 per l'insegnamento della chimica organica alla

presentazione di un robot con le sembianze di Einstein. I contributi sono raggruppati sia in base all'argomento sia in base al livello di preparazione richiesto al pubblico per la loro comprensione.

www.scivee.tv

SITI

Una rete per la scienza e lo sviluppo

Un osservatorio per la scienza dedicata ai paesi in via di sviluppo e proveniente dai paesi in via di sviluppo: potremmo definire così il sito web dell'organizzazione no profit SciDev.Net (Science and Development Network). L'obiettivo, come dichiarato nella presentazione del sito, è «fornire a uomini di governo, ricercatori, media e società civile

una piattaforma e dei contenuti adatti a esplorare in che modo scienza e tecnologia possono aiutare a ridurre la povertà, migliorare le condizioni sanitarie e aumentare gli standard di vita in tutto il mondo». Il sito, davvero ricchissimo e molto ben curato, si organizza attorno a sei temi principali: agricoltura e ambiente, cambiamenti climatici ed energia, salute, nuove tecnologie, politiche per la scienza e l'innovazione e comunicazione della scienza. Certo, non tutti gli argomenti trattati possono interessare il pubblico scolastico, ma è indubbio che studenti e docenti troveranno nel sito materiali utili per tesine o approfondimenti.

www.scidv.net

Influenza sul Web

A partire dallo scorso aprile, l'influenza A H1N1,



la cosiddetta suina, si è diffusa velocemente in tutto il mondo, dando origine a una vera e propria pandemia. Va da sé che, in questi casi, le istituzioni sanitarie internazionali (Organizzazione mondiale della sanità *in primis*) sono particolarmente impegnate a monitorare lo stato di diffusione della malattia. E un aiuto in questo senso può venire anche da progetti complementari di sorveglianza epidemiologica, basati sul Web 2.0 e in cui sono gli utenti a comunicare

direttamente se hanno sintomi influenzali o meno. In Italia, una piattaforma di questo tipo è Inluweb, coordinata dai ricercatori dell'Istituto per l'interscambio scientifico di Torino. Chiunque lo voglia può registrarsi: dopo averlo fatto, riceverà ogni settimana un breve questionario su eventuali sintomi influenzali, con dati di insorgenza e informazioni relative. Ovviamente, questo non serve per ottenere una diagnosi in tempo reale della propria condizione,

ma aiuta i coordinatori (e di riflesso le autorità sanitarie) a capire se è in corso un'esplosione anomala (per esempio fuori stagione) di casi influenzali. Oltre a fornire una sorveglianza continua della situazione, il sito fornisce utili e chiare informazioni mediche e scientifiche sull'influenza in generale e su quella A H1N1 in particolare.
www.influweb.it

Notizie fresche

Eredita la gloriosa tradizione di ScienzaEsperienza

(rivista di scienza prima cartacea poi online) il nuovo magazine in rete sulla ricerca scientifica italiana e internazionale prodotto dal Sissa Medialab di Trieste: OggiScienza. Come dice il nome, si tratta di fotografare, giorno per giorno, uno o più temi di ricerca contemporanea, con news, interviste o approfondimenti che non si limitano a presentare le ultime novità, ma aiutano anche a illustrare meglio il lavoro di scienziato e il processo di produzione del sapere scientifico. La piattaforma è quella

wordpress tipica di molti blog: si possono quindi commentare le notizie e chiedere chiarimenti sui contenuti. Il ricco archivio di contenuti di ScienzaEsperienza, tuttavia, non è andato perduto: lo si può recuperare dalla pagina web del Sissa Medialab (<http://medialab.sissa.it>), risalendo così a interviste, notizie, dossier, almanacchi storici e alle trasmissioni podcast della trasmissione radiofonica di scienza *Che fine ha fatto Sedna?*
<http://oggiscienza.wordpress.com>

Nei panni di Darwin

Il nostro primo incontro con Charles Darwin è stato mediato dai libri di scuola, prima alle medie poi nei primi anni delle superiori. Quest'anno abbiamo avuto modo di approfondire la conoscenza, visitando a Milano la mostra *Darwin 1809-2009*, versione italiana del grande allestimento organizzato nel 2006 dall'American Museum of Natural History di New York. In una torrida giornata d'inizio estate, dopo aver "svegliato" un paio di cassiere insonnolite dall'afa (purtroppo niente aria condizionata), abbiamo iniziato a esplorare le sale. La mostra è un ricostruzione in ordine cronologico della vita di Darwin, volta a evidenziare le

circostanze che lo hanno portato a formulare la teoria dell'evoluzione per selezione naturale. È evidente, in particolare nel testo dei pannelli espositivi, la volontà degli organizzatori di sottolineare l'aspetto rivoluzionario della teoria rispetto alla precedente concezione del mondo e della natura. Prima di Darwin si credeva infatti che animali e vegetali non subissero alcuna evoluzione nel tempo e che non potesse esistere un antenato comune a più specie. Allo stesso modo, si riteneva che l'uomo non facesse parte della natura, in quanto in possesso di qualità superiori. Darwin manifesta già nell'adolescenza uno spiccato amore per la

natura: si appassiona alla chimica, alla biologia, alla botanica e alla geologia. I primi pannelli evidenziano le incertezze che hanno caratterizzato la sua giovinezza, divisa tra l'obbedienza al padre (che lo voleva medico) e gli interessi personali, che lo hanno presto portato ad accantonare gli impegni scolastici. A dimostrazione di ciò, nella prima parte dell'esposizione si trovano copie delle tante specie collezionate, disegni della giovinezza ripresi in fotografie d'archivio, immagini dei taccuini e degli ambienti di vita. Il riconoscimento ufficiale delle inclinazioni di Darwin, oltre che l'affermazione del suo talento come naturalista, arrivano nel 1831, quando viene

invitato a intraprendere un viaggio intorno al mondo sul brigantino *Beagle*. È un evento cruciale, che la mostra permette di rivivere grazie alla ricostruzione in scala del brigantino, al diario di bordo e a una descrizione della vita del naturalista nella piccola nave. Curioso è il "rituale dell'Equatore" (descritto nel giornale di bordo), una sorta di danza che i marinai dovevano compiere come rito propiziatorio dopo aver oltrepassato l'Equatore, segno di come la superstizione dominasse l'animo di tutti, o quasi. Darwin, poco interessato alla vita di bordo e ai rilevamenti geografici, che erano lo scopo principale della spedizione, trascorre gran parte del tempo a terra, studiando le varie specie animali e vegetali

con cui viene a contatto. Il suo spirito di osservazione gli permette di analizzare la realtà con occhi nuovi: sorgono dubbi riguardo alle precedenti teorie, si pongono nuove domande e si presentano nuove risposte. Questo modo di procedere appare ancora più significativo pensando che, al suo tempo, quasi tutti, certi delle teorie fissiste, consideravano gli animali più come attrazioni che come oggetti di studio. Nei documenti inediti presenti (lettere, appunti e i cosiddetti *Taccuini della trasmutazione*) si può seguire il passaggio del pensiero darwiniano verso un'ottica evolutivista. Nella sezione dedicata al viaggio esplorativo si trovano inoltre reperti



Il portale dell'evoluzione

È dedicato a *Pikaia Gracilens*, protocordato fossile precursore ancestrale di tutti i cordati, il primo portale telematico italiano sull'evoluzionismo, chiamato appunto Pikaia: un vero paradiso per chiunque si occupi – o semplicemente si interessi – di evoluzione. Secondo quanto si legge nella presentazione online del sito, si tratta di un «progetto scientifico interdisciplinare e internazionale per la diffusione del pensiero evoluzionistico in tutte le

sue componenti, sperimentali, filosofiche, storiche e didattiche». Di fatto, il portale offre una quantità impressionante di notizie, recensioni, approfondimenti, segnalazioni, interviste, multimedia e altro ancora, tutti dedicati ai vari aspetti del tema evoluzione. E c'è anche un ricco glossario. Il sito è davvero facile da esplorare, grazie all'accurata suddivisione degli argomenti, e i contenuti sono sempre rigorosi dal punto di vista scientifico, ma accattivanti e chiari nello stile. La direzione del

progetto è di Telmo Pievani, docente di filosofia della scienza all'Università di Milano Bicocca.

www.pikaia.eu

BLOG

Scienza in cucina

Dario Bressanini è un ricercatore universitario al Dipartimento di scienze chimiche e ambientali dell'Università dell'Insubria e insegna, tra gli altri corsi, termodinamica chimica. In più, è anche un ottimo divulgatore scientifico, come dimostra il suo

blog *Scienza in cucina*, ospitato sul sito della rivista "Le Scienze". I post sono sempre accattivanti, documentati e dall'impostazione rigorosa e il seguitissimo blog tratta vari argomenti: politica alimentare e agricola (sono frequenti le discussioni sui prodotti geneticamente modificati), miti e illusioni dell'alimentazione, chimica in cucina. Per esempio, Bressanini ci spiega come funzionano e di che cosa sono fatti i vari tipi di lievito oppure come funzionano e a che cosa servono gli

emulsionanti (come la lecitina di soia). Qualche volta, il nostro chimico divulgatore suggerisce anche semplici esperimenti da fare a casa (o, perché no, in classe) per "toccare con mano" alcuni meccanismi chimici. E non mancano le ricette scientifiche, come il gelo di mellone, la pita all'acqua gassata o il guacamole, illustrate passo per passo e con tanto di spiegazioni sul significato (culinario e scientifico) dei vari momenti di preparazione.

<http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it>



fossili, modelli di specie estinte, ricostruzioni di ambienti e anche animali vivi ospitati in teche: attrazione, quest'ultima, molto gradita ai visitatori più piccoli!

Usciti dall'atmosfera avventurosa del viaggio, si passa al clima più meditativo della sezione dedicata al successivo

lavoro di rielaborazione. Dopo cinque anni di viaggio intorno al mondo, i dati raccolti andavano riordinati, analizzati e discussi con altri studiosi per giungere alla formulazione di una vera e propria teoria. Il naturalista inglese sceglie la tranquilla campagna, lontana da

Londra, per svolgere la sua attività. Questo ci porta a formulare una considerazione e cioè che sia solo mantenendo un saldo contatto con la natura che si arriva a possedere le conoscenze necessarie per poterla descrivere efficacemente. Gli studi di Darwin raggiungono

subito risultati sorprendenti che culminano nella teoria dell'evoluzione per selezione naturale. Il suo lavoro rimane tuttavia riservato alla sfera privata per molti anni. Finalmente, nel 1859 viene pubblicata l'opera più conosciuta di Charles Darwin, *L'origine della specie*, presto tradotta in molte lingue. L'Europa intera è investita dalla nuova teoria e la comunità scientifica ottocentesca si divide: molti sono sconvolti dalle rivoluzionarie scoperte, ma numerosissimi sono anche i consensi. È un peccato che la mostra non approfondisca più di tanto questo aspetto, che forse avrebbe avuto bisogno di maggior attenzione. Giunti alla fine del nostro percorso, resta in

noi una concezione dell'esperienza di Charles Darwin che può essere perfettamente resa dalla metafora di un passaggio dal buio della superstizione alla luce della realtà naturale, come ben evidenziato dagli organizzatori della mostra con un luminosissimo corridoio, ricostruzione del *Sandwalk*, l'assolato sentiero della campagna inglese dove il naturalista, immerso nella natura, ha dato vita alla sua "rivoluzione". **Daniele Massa e Chiara Miatton**, classe 5B, liceo scientifico G. Galilei, Voghera (Pavia)
Darwin 1809-2009 Milano, Rotonda della Besana fino al 25 ottobre 2009
Bari, 24 novembre 2009- 15 febbraio 2010

VERITÀ E UTILITÀ DELLE TEORIE SCIENTIFICHE



Una teoria scientifica è utile (e funziona) perché è vera, oppure è vera perché è utile (e funziona)? Il successo *pratico* di una teoria è una prova sufficiente della sua verità? Il problema può sembrare di "lana caprina", eppure il dibattito sulla questione ha attraversato due secoli di scienza, senza che ancora oggi ci sia una soluzione condivisa. Ora, da un lato, il senso comune attribuisce spesso alla scienza un valore di sapere oggettivo, certo e dunque efficace sul piano pratico e riconosce all'indagine scientifica la capacità di pervenire alla verità, di comprendere la natura profonda della realtà. Per questa posizione "realista", i fatti che riguardano la scienza sono "là fuori" in attesa di essere scoperti; e dunque, una teoria funziona quando e se è vera. Ma è davvero così? Dall'altro lato, infatti, sempre a livello di senso comune, è diffusa anche una seconda concezione, che potremmo chiamare "pragmatica" o "strumentalista". Per questa concezione, la ragione sta sempre dalla parte di chi ha successo. E la scienza è innanzitutto uno strumento utile per risolvere problemi pratici. Secondo i pragmatici, la verità di una teoria non è la condizione del successo operativo, ma ne è la conseguenza: una teoria è considerata vera solo quando funziona sul piano pratico.

Quark: realtà o finzione?

Per i realisti, dunque la scienza funziona perché fornisce una descrizione vera del mondo; per gli strumentalisti, al contrario, ha poco senso occuparsi del problema della verità; l'importante è che una teoria "funzioni". Il disaccordo riguarda soprattutto le teorie scientifiche che compiono affermazioni su aspetti *non osservabili* della realtà, come la fisica quando avanza ipotesi teoriche sugli elettroni, i quark e altre particelle, nessuna delle

quali può essere osservata nel senso normale della parola. Qui le cose si complicano. I realisti affermano infatti che i fisici del mondo subatomico sono alla ricerca della verità. Gli strumentalisti affermano invece che le entità non osservabili di cui parlano i fisici sono solo utili finzioni introdotte per favorire la predizione dei fenomeni osservabili.

Gas in movimento: miracoli...

Un esempio è la teoria cinetica dei gas, secondo la quale ogni volume di gas contiene un gran numero di molecole in movimento, non osservabili. Per gli strumentalisti, se muovendo dalla teoria cinetica dei gas è possibile dedurre utili conseguenze circa il comportamento osservabile dei gas, allora il fatto che, realmente, questi contengano o meno molecole in movimento è questione priva di significato. Lo scopo della teoria non è descrivere in modo veritiero i fatti nascosti, ma solo fornire un sistema vantaggioso di predire osservazioni. A questa posizione, i realisti hanno reagito con il cosiddetto argomento "zero miracoli". Esso afferma che sarebbe davvero un miracolo se una teoria che parla di atomi ed elettroni (o, nell'esempio specifico, di molecole in movimento) facesse predizioni accurate sul mondo osservabile, non esistendo affatto né atomi, né elettroni (o molecole in movimento). E poiché ai miracoli è meglio non credere, almeno se esiste un'alternativa non miracolosa, allora conviene concludere che la teoria in questione afferma il vero.

... e falsità

A questo argomento gli antirealisti hanno risposto che nella storia della scienza vi sono molti casi di teorie che ora sappiamo essere false, ma che ebbero molto successo empirico ai loro tempi, come la teoria della combustione basata sul flogisto. Malgrado oggi la chimica moderna ci dica che il flogisto non esiste, la teoria basata su di esso rendeva conto in modo più che accettabile dei dati osservativi disponibili nel Settecento. E poiché la storia della scienza ci dice che molte teorie considerate a lungo vere si sono poi rivelate false, come facciamo a scommettere che le odierne teorie atomiche della materia non possano fare la fine del flogisto? Se l'argomento "zero miracoli" sia un buon argomento a favore del realismo o se l'agnosticismo degli antirealisti sia più convincente è questione aperta. Certo, oggi la mentalità diffusa è fortemente permeata dallo strumentalismo. E molti sono portati a pensare che il successo pratico valga sia come conferma dell'efficacia delle nostre azioni, sia come convalida dell'ipotesi che ne era alla base. ➔



FABIO CIOFFI

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

PER APPROFONDIRE

— G. Boniolo e P. Vidali, *Introduzione alla filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano, 2003.

— R. G. Newton, *La verità della scienza*, McGraw-Hill, Milano 1999.

