LA RIVISTA DI SCIENZE PER LA CLASSE 09 2011

linx MAGAZINE

L'intelligenza delle piante

Alla scoperta della neurobiologia vegetale con Stefano Mancuso, uno dei fondatori della disciplina

FRONTIERE

La fisica del groviglio

Approfondimento su un fenomeno al cuore della meccanica quantistica: l'*entanglement*

ESPERIENZE
IL BELLO DELLA RICERCA "VERA"

RIFLESSIONI
MATEMATICA PER STRATEGIE ED EQUILIBRI

INTERNET POINT
QUANDO I PROF SI INCONTRANO SUL WEB

RIFLESSIONI
DARWIN AL COMPUTER

ESA - AOES MEDIALAB

pagina 6

Maggio 2009. Dalla base di Kourou, nella Guyana francese, viene lanciato il satellite Planck. Missione: indagare l'origine e i primi istanti di vita dell'Universo. Nell'immagine, una rappresentazione artistica del satellite, in visione frontale.

Pensiero scientifico, emozione, sfera individuale e sfera sociale

La scienza deve spesso fare i conti con alcuni pregiudizi. Il primo, difficile da scalzare, racconta che il pensiero scientifico è arido e freddo, poco aperto alla passione e all'emozione. Il secondo, quasi un corollario del primo, afferma che le scienze hanno poco a vedere con il comportamento umano e la società, e proprio per questo sono lontane dalla concretezza della vita degli individui e dalla sfera delle decisioni quotidiane.

Questo numero di Linx Magazine offre qualche buon argomento per sfatare questi luoghi comuni.

L'intervista a Stefano Mancuso, direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale, ci proietta in un mondo al limite del fantastico. Abituati a immaginare che il pensiero sia connesso a un cervello costituito da neuroni e cellule nervose, siamo indotti a credere che il mondo vegetale sia alieno a ogni forma di attività intelligente. La neurobiologia vegetale, una nuova disciplina che Mancuso ha contribuito a fondare, ipotizza invece che le piante siano in grado di svolgere attività simil-neurali che consistono nella capacità di raccogliere ed elaborare informazioni e dare luogo a comportamenti conseguenti. Quanto sembra più complesso e articolato il mondo ogni volta che cerchiamo di comprenderlo!

La fisica moderna sembra andare verso l'astrazione pura, sempre più lontana dalla realtà concreta. Ma quale fascino si nasconde tra le formule! L'articolo di Francesca Magni racconta le meraviglie dell'*entanglement*, un fenomeno ai confini della fantascienza che è alla base della meccanica quantistica. Abituati a pensare alla località dei fenomeni e alla validità della relazione causa-effetto, con l'entanglement arriviamo a un vero e proprio cortocircuito mentale: fenomeni a distanza siderale diventano interdipendenti, non locali, e violano il principio secondo cui la trasmissione dell'informazione non può superare la velocità della luce. È come se nello stesso istante in cui provassi prurito il mio gemello, all'altro capo dell'Universo, iniziasse a grattarsi. Altro che aridità della scienza! L'ha detto una volta per tutti Shakespeare: "ci son più cose in cielo e in terra, Orazio, di quante ne sogni la tua filosofia".

Loretta Salino, che poi altro non è che il nome collettivo di alcuni matematici ex studenti della Scuola Normale di Pisa, ci introduce alla teoria dei giochi, lo studio matematico delle situazioni di conflitto e delle strategie per la valutazione dei rischi e dei benefici ad esso connessi. È una branca della matematica che trova applicazione in diversi ambiti scientifici, dall'etologia all'economia, e che ha avuto tra i padri fondatori John Nash, Nobel per l'economia nel 1994, figura geniale e contraddittoria che Russell Crowe ha interpretato nel film *A beautiful mind*. Ancora una volta: siamo nel freddo mondo della logica? Verrebbe da dire di sì. Ma è questa la matematica che viene utilizzata da chi governa le strategie militari nel mondo. Anche se è legittimo chiedersi quanto questa razionalità determini davvero la sfera delle scelte e delle decisioni.

MASSIMO ESPOSTI
Direttore editoriale di Linx

SOMMARIO N.09 – APRILE 2011

4
DA NON PERDERE

8
INTERVISTA
STEFANO MANCUSO RACCONTA
di Valentina Murelli

6
NUMERI DI SCIENZA
L'UNIVERSO BAMBINO DI PLANCK
di Valentina Murelli

16
FRONTIERE
LA FISICA DEL GROVIGLIO
di Francesca E. Magni

24
FRONTIERE
IL CERVELLO COLORATO
di Donato Ramani

30
INTERNET POINT
PROF COMMUNITY
di Tiziana Moriconi

36
ESPERIENZE
IL BELLO DELLA RICERCA "VERA"
di Emanuela Storti

40
PROGETTI
INSIEME TRA I GHIACCI PER UNA NUOVA DIDATTICA
di Matteo Cattadori

44
NOTIZIE DALL'EDITORE
MYMATHLAB: LA PIATTAFORMA ONLINE PER INSEGNARE E APPRENDERE LA MATEMATICA

46
RIFLESSIONI
DARWIN AL COMPUTER
di Marco Ferrari

50
RIFLESSIONI
MATEMATICA PER STRATEGIE ED EQUILIBRI
di Loretta Salino

58
INTERVISTA DOPPIA
RICERCA E NON SOLO

54
RIFLESSIONI
BIODIVERSITÀ NEL LAZIO DIAMO I NUMERI!
di Pierangelo Crucitti

60
UNO SCIENZIATO AL CINEMA
TRON: LEGACY
di Andrea Bottino

62
IN GIRO PER LA RETE

64
PRENDIAMOLA CON FILOSOFIA
IL PROBLEMA DI MOLYNEUX
di Fabio Cioffi

linx

direzione
Massimo Esposti

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

hanno collaborato a questo numero
Andrea Bottino, Matteo Cattadori, Fabio Cioffi, Pierangelo Crucitti, Marco Ferrari, Francesca E. Magni, Patrizia Martellini, Tiziana Moriconi, Valentina Murelli, Donato Ramani, Barbara Rosenthal, Loretta Salino, Emanuela Storti

progetto grafico, art direction
Paola Lenarduzzi (studiopaola)

impaginazione
Alice Baraldi (studiopaola)

disegni
Cristina Del Buono

progetto grafico di copertina
Italik, Milano

immagine di copertina
Barbara Rosenthal

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

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

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

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

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

Corso Trapani 16
10139 Torino

RI636400074F
Stampato per conto della Casa Editrice presso Arti Grafiche DIAL, Mondovì (Cn), Italia

Tutti i diritti riservati
© 2011 Pearson Italia S.p.A.
www.pearson.it

DA NON PERDERE

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

Scuola polare estiva

Genova, 18-22 luglio 2011

Si svolgerà a luglio a Genova la prima edizione della SPEs: Scuola polare estiva per insegnanti, riservata a 12 docenti di scienze, di ruolo nella scuola secondaria di primo e secondo grado. La scuola si concluderà con la selezione di un corsista che, nel novembre 2011, parteciperà alla 27° spedizione antartica italiana. L'iniziativa, organizzata dal Museo nazionale dell'Antartide con il supporto del Ministero dell'istruzione, intende rafforzare l'intesa tra la scuola e il mondo della ricerca scientifica. Il programma prevede interventi di ricercatori e "insegnanti polari", anche stranieri, e offre due tipi di attività. Una di approfondimento delle principali linee di ricerca nell'ambito delle scienze polari (scienze della vita e della Terra) e una di traduzione dei principali contenuti scientifici in esperienze didattiche attive da svolgere con la propria classe. La domanda di iscrizione va inviata entro il 30 aprile.

www.mna.it/spes

FILIPPO DARIZ / WIKIMEDIA COMMONS

Una settimana sul campo

Chasa Montanella (Svizzera)
25 giugno – 2 luglio 2011

Se avete tra i 17 e i 20 anni e siete appassionati di comportamento animale, ecologia e osservazioni sul campo, ecco per voi un'ottima opportunità. La fondazione svizzera Swiss Youth in Science offre l'occasione a 20 giovani provenienti da tutta Europa di condurre una ricerca sull'etologia o l'ecologia di specie animali e vegetali che popolano l'ambiente delle Alpi svizzere. In programma osservazioni sul campo, raccolta e interpretazione di dati attraverso strumenti statistici e una presentazione finale dei risultati in un breve studio che sarà poi pubblicato sul sito della fondazione. In questo modo, i partecipanti potranno sperimentare "dal vero", anche grazie all'aiuto di esperti, tutte le fasi di una vera ricerca naturalistica. Sono richieste buone gambe e una buona conoscenza dell'inglese. Le iscrizioni si chiudono il 20 maggio.

www.sjf.ch

Il segno del chimico

Torino, 13 maggio 2011

Il 2011 è l'Anno internazionale della chimica e per celebrarlo Torino rende omaggio con uno spettacolo a un suo cittadino illustre: lo scrittore e chimico Primo Levi. *Il segno del chimico. Dialogo con Primo Levi* è una lettura scenica di un'inedita selezione di testi dello scrittore, noto in tutto il mondo come testimone di Auschwitz. Lo spettacolo ruota attorno alla figura di Levi chimico, alla sua formazione scientifica e alla produzione di testi tecnici e scientifici, che costituiscono un *corpus* poco noto ma ricco, interessante e di valore pari a quello riconosciuto alle opere letterarie. Uno sguardo originale su questo grande testimone del Novecento, che al sistema periodico dedicò una raccolta di racconti e che anche grazie alle sue conoscenze di chimica riuscì a salvarsi dal campo di concentramento. Un'occasione unica per cogliere fascino e utilità di questa disciplina.

GIACOMINO FOTO

www.chimica2011.it/default/scopri-gli-eventi/tutti-gli-eventi

L'albero della vita

Gorizia, Palazzo Attems Petzenstein. Fino al 19 giugno 2011

Ovvero *L'evoluzione attraverso gli occhi di Charles Darwin*: una mostra che ripercorre in dieci tappe la vita del naturalista inglese e la nascita della teoria che cambiò per sempre il pensiero scientifico. I visitatori potranno vedere le lettere, i carteggi, gli erbari appartenuti a Darwin e ripercorrerne il celebre viaggio a bordo del *Beagle*. Ma anche "toccare con mano" alcune conferme alla teoria, come le omologie tra diverse specie e la straordinaria capacità di adattamento di virus e batteri. In chiusura due incontri suggestivi. Il primo con il nostro antenato più famoso, l'ominide Lucy, in un percorso dedicato all'evoluzione umana che intende sottolineare, come già aveva intuito Darwin, che l'umanità non si divide in razze né tantomeno che esistono razze superiori. Il secondo con le "infinite forme bellissime" delle orchidee, a testimonianza dell'incredibile varietà che può assumere la vita.

www.alberodellavitadarwin.org

FIORENZA CICOGNA / OVERSEAS

Orientagiovani

Sul territorio nazionale, 11 ottobre 2011

Nell'Anno internazionale della chimica, anche l'associazione degli industriali, Confindustria, dedica il proprio impegno all'orientamento a questa disciplina. *La chimica, la nostra vita il nostro futuro* è infatti il titolo dell'edizione 2011 della giornata nazionale Orientagiovani, con l'obiettivo di avvicinare i giovani allo studio della chimica, una materia che ha giocato un ruolo importante nello sviluppo del nostro paese e sulla quale Confindustria punta anche per il futuro. Per gli industriali, lo studio e il lavoro nel settore chimico rappresentano un buon investimento per i giovani, per competere in modo globale nei settori più innovativi dell'economia. Le attività della giornata si svolgeranno in ogni provincia italiana e coinvolgeranno associazioni industriali, scuole e università.

www.chimica2011.it/default/scopri-gli-eventi/orientagiovani-nazionale.aspx

Vedere la scienza

Milano, Spazio Oberdan, 2-8 maggio 2011

Nuova edizione del festival del film, del video e del documentario scientifico, organizzato dal Dipartimento di fisica dell'Università di Milano, dalla fondazione Cineteca italiana e dalla Provincia di Milano. Sempre aperto a ogni ambito scientifico, quest'anno il tema centrale è, ovviamente, la chimica, anche per celebrare il centenario della consegna del premio Nobel per la chimica a Marie Curie. Come nelle passate edizioni, durante il festival sarà possibile assistere alla proiezione di video in concorso, a una rassegna di film d'autore, a dibattiti e convegni e a iniziative appositamente dedicate a bambini e ragazzi. Tutte le sessioni sono aperte al pubblico con ingresso gratuito. Le scolaresche possono partecipare alle sessioni mattutine, previa prenotazione.

www.brera.unimi.it/film

PAOLO CALCIDESE

Scuola estiva di astronomia

Saint-Barthélemy, 25-29 luglio 2011

Torna anche quest'anno una nuova edizione, l'ottava, del corso di aggiornamento professionale e didattica dell'astronomia promosso dall'Unione astrofili italiani e organizzato dall'Osservatorio astronomico della Valle d'Aosta, in collaborazione con l'Assessorato istruzione e cultura della regione. Titolo dell'iniziativa: *I colori della luce*.

www.oavda.it

ANDREE KAISER / MUSEO ARCHEOLOGICO DELL'ALTO ADIGE

Tanti auguri, Ötzi

Bolzano, Museo archeologico dell'Alto Adige

Fino al 15 gennaio 2012

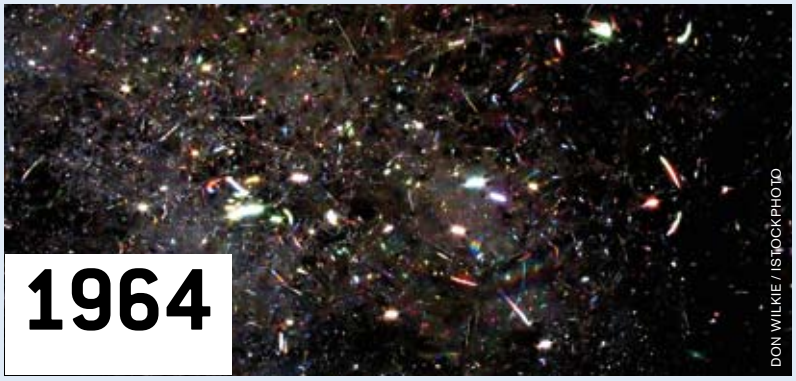
Non capita tutti i giorni di poter conoscere da vicino una mummia. Al Museo archeologico dell'Alto Adige di Bolzano, però, questo è possibile, grazie alla mostra organizzata per festeggiare il ventesimo anniversario del ritrovamento di Ötzi. Era infatti il 1991 quando fu rinvenuto in un ghiacciaio il corpo di un uomo risalente all'età del rame, in buono stato di conservazione. Da allora, c'è stata molta ricerca scientifica sulla mummia, ma anche tanta partecipazione popolare alle sue vicende. Ecco dunque in mostra le recenti scoperte, ma anche le curiosità, le ipotesi stravaganti che i mass media hanno dato dell'origine della mummia, le tante rappresentazioni realizzate dai musei di tutta Europa e persino una collezione di gadget. E c'è anche l'occasione di conoscere Ötzi di persona: attrazione dell'esposizione, infatti, è la rappresentazione a grandezza naturale della celebre mummia opera di Alfons e Adrie Kennis, gli artisti che hanno dato un volto all'uomo di Neanderthal.

http://oetzi20.it

L'UNIVERSO BAMBINO DI PLANCK

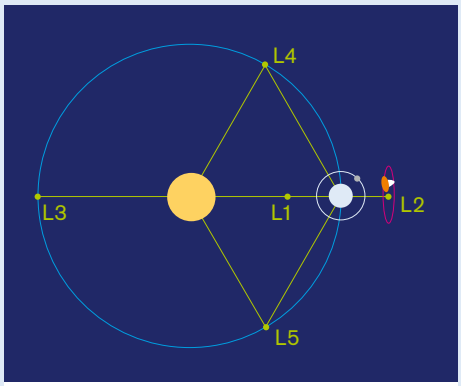
Macchina del tempo, o anche *paleontologo astronomico*: non mancano le metafore suggestive per Planck, il satellite dell'Agenzia spaziale europea (Esa) lanciato nel maggio 2009 con l'obiettivo di studiare l'origine e le prime fasi di vita dell'Universo: in altre parole, nascita e infanzia. Nell'estate del 2010 e all'inizio di quest'anno sono arrivati i primi risultati della missione, che è riuscita a "scattare" una foto molto accurata della radiazione cosmica di fondo, la "traccia fossile" del big bang, e a identificare un ricco catalogo di sorgenti galattiche ed extragalattiche.

VALENTINA MURELLI



1964

Anno in cui venne identificata la radiazione cosmica di fondo, una radiazione a microonde che pervade tutto l'Universo ed è ritenuta uno degli indizi più importanti a sostegno della teoria del big bang. Secondo questa teoria, circa 13,7 miliardi di anni fa l'Universo avrebbe iniziato a espandersi e a raffreddarsi a partire da una condizione iniziale di altissima densità e temperatura. Per i cosmologi la radiazione cosmica di fondo, che risale ad "appena" 380 000 anni dopo il big bang, rappresenta la "traccia fossile" del big bang stesso. Per questo, studiarla accuratamente, come sta facendo Planck, dovrebbe permetterci di saperne di più su quello che è successo nelle prime frazioni di secondo dopo il big bang.

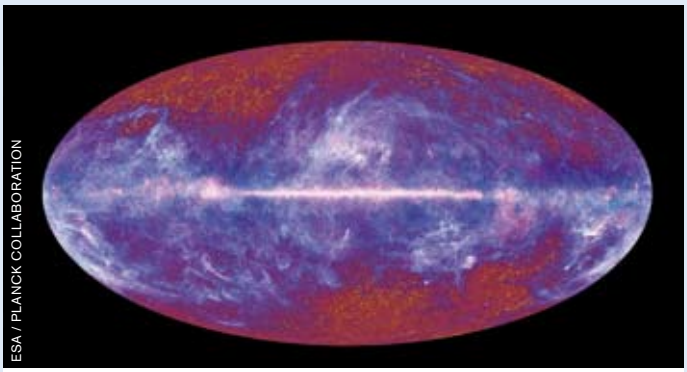


1,5
milioni di km

Distanza di Planck dalla Terra. Il satellite orbita attorno a un punto di equilibrio del campo gravitazionale combinato della Terra e del Sole chiamato punto lagrangiano L2, situato dalla parte opposta rispetto al Sole. Durante l'anno L2 si muove intorno al Sole insieme al nostro pianeta. Questa collocazione offre a Planck la possibilità di osservare l'Universo con minime interferenze da parte delle emissioni (di calore ed elettromagnetiche) del Sole e della Terra. Inoltre, garantisce ai suoi pannelli solari un'alimentazione continua.

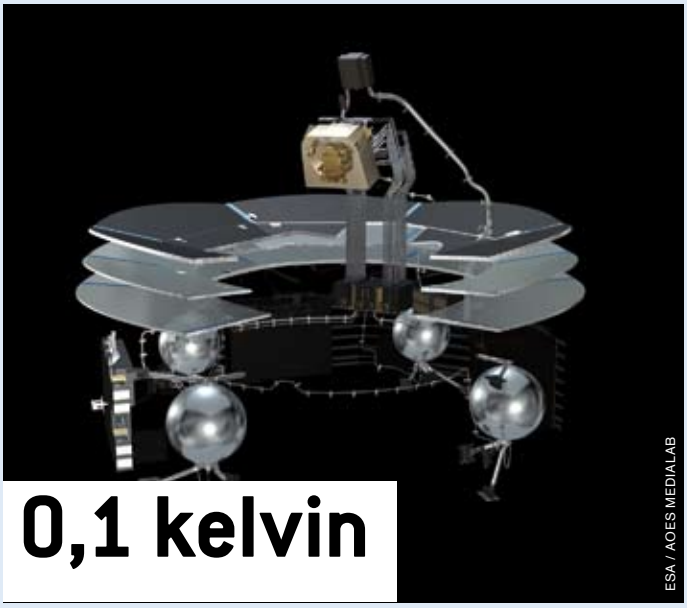
1,5 metri

Apertura effettiva del telescopio di Planck, che raccoglie la radiazione cosmica di fondo per indirizzarla agli strumenti scientifici di rilevazione posti a bordo del satellite: LFI (Low Frequency Instrument) e HFI (High Frequency Instrument). Lo specchio del telescopio è stato realizzato in fibra di carbonio ricoperta da un sottilissimo strato di alluminio. LFI è uno strumento tutto italiano, progettato e realizzato grazie alla collaborazione tra centri di ricerca, Agenzia spaziale italiana e, sul fronte industriale, Thales Alenia Space Italia.


ESA / PLANCK COLLABORATION

2,75 kelvin

Temperatura media della radiazione cosmica di fondo. Alcune regioni dell'Universo mostrano piccolissime variazioni dalla media: per i cosmologi, queste sono tracce di eventi cosmici successivi al big bang, come la formazione delle prime strutture a grande scala dell'Universo (galassie e ammassi di galassie). Planck funziona come un termometro supersensibile, in grado di rilevare piccolissime fluttuazioni di temperatura. Sopra è riportata l'immagine a tutto cielo, elaborata a partire dai primi dati del satellite, della radiazione cosmica di fondo, ben visibile con le sue fluttuazioni ("granulosità" di colori differenti) nelle porzioni superiore e inferiore dell'immagine stessa. La porzione centrale è occupata da una diffusa emissione di gas e polveri nella Via Lattea, nelle stesse frequenze "viste" da Planck.


ESA / AOES MEDIALAB

0,1 kelvin

Temperatura alla quale sono mantenuti alcuni dei rivelatori di Planck, così bassa da renderli i punti più freddi attualmente presenti nel Sistema solare (e forse nell'intero Universo). Questa temperatura, resa possibile da un sofisticato sistema di raffreddamento (nell'immagine), è necessaria per un corretto funzionamento degli strumenti, che sono in grado di misurare variazioni di temperatura dell'ordine dello 0,001%.

ESA / PLANCK COLLABORATION

15 000
sorgenti

Oggetti astronomici, galattici ed extragalattici, osservati da Planck: è il più grande catalogo di sorgenti "fredde" mai realizzato. Tra gli oggetti identificati nella nostra galassia figurano stelle avvolte nella polvere e nuclei di nubi molecolari, mentre al di fuori della Via Lattea si segnala l'identificazione di 189 ammassi di galassie, 20 dei quali finora sconosciuti (come l'ammasso PLCK G214.6+37.0 nell'immagine).

9 frequenze

INAF / RENATO CERISOLA

"Catalogo" delle frequenze di radiazione elettromagnetica analizzate da Planck. Le basse frequenze, comprese tra 30 GHz e 70 GHz, sono intercettate dai 22 ricevitori radio dello strumento LFI, mentre le alte frequenze, tra 100 e 857 GHz, sono intercettate dai 52 bolometri (dispositivi che misurano la radiazione elettromagnetica) di HFI. Questa ampia copertura dello spettro è necessaria per riuscire a distinguere dati scientifici rilevanti (cioè quelli relativi alla radiazione cosmica di fondo), da segnali indesiderati, vale a dire radiazioni della stessa lunghezza d'onda emesse da altri corpi celesti (il cosiddetto rumore di fondo). Nell'immagine una delle antenne di LFI.

?

L'accurata analisi dei dati raccolti da Planck potrebbe aiutare a rispondere ad alcune delle grandi questioni cosmologiche. Per esempio: che cosa e quando ha dato il via al Big Bang? Qual è la densità precisa della materia nell'Universo e qual è la vera natura di questa materia? E, naturalmente, quale sarà il destino dell'Universo? Continuerà a espandersi per sempre oppure collasserà su sé stesso?

Al lavoro con radici "pensanti", segnali chimici e potenziali d'azione

STEFANO MANCUSO **RACCONTA**

Le piante sono sessili, ma non immobili e insensibili. Anzi, presentano sofisticate modalità di interazione con l'ambiente e di comunicazione intra e interspecifica ed è proprio questo il campo di indagine di un'insolita disciplina: la neurobiologia vegetale.

VALENTINA MURELLI

Partiamo con un quiz: qual è l'organismo più grande del pianeta? Molti probabilmente risponderanno «la balena». E invece sbaglieranno, perché il più grande è la sequoia gigante. Una pianta. Del resto, è facile dimenticarsi delle piante, o addirittura considerarle organismi di serie B, con la giustificazione che non si muovono e non si fanno sentire. Anche questi però sono errori, e piuttosto grossolani. Le piante si muovono eccome, solo che i loro movimenti, a differenza di quelli degli animali, sono "sul posto" (pensiamo alle giovani piante che orientano la crescita in base alla direzione della luce solare) e sono in genere molto lenti. Con qualche eccezione, come quella della *Mimosa pudica*, che al minimo contatto chiude le foglie molto velocemente. O come gli scatti rapidissimi

KATRINA LEIGH / SHUTTERSTOCK

delle piante carnivore. Quanto al fatto che "non si fanno sentire", be', molto dipende dalla nostra capacità di "ascoltare". Le piante, infatti, hanno un ricchissimo sistema di comunicazione, costituito da una grande varietà di molecole (amminoacidi, zuccheri, metaboliti secondari, sostanze volatili) con cui "dialogano" con le proprie vicine o con gli animali. E sempre sul fronte comunicazione, è degli ultimi anni la scoperta di un sistema interno di trasmissione delle informazioni a livello delle radici che può essere considerato in qualche modo analogo al sistema nervoso degli animali. Tra gli artefici di questa scoperta c'è Stefano Mancuso, direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale dell'Università di Firenze e uno dei fondatori della nuova disciplina della neurobiologia vegetale.

Stefano Mancuso

PIANTE IN ORBITA

La forza di gravità è il parametro fisico che più di tutti ha plasmato la crescita delle piante nel corso della loro storia evolutiva: le radici crescono verso il basso e fusti e foglie verso l'alto proprio come precisa risposta fisiologica a questa forza. Ma qual è esattamente la catena di messaggi cellulari e molecolari che indica a una pianta dove si trovano rispettivamente l'alto e il basso? Per rispondere a questa domanda, da qualche anno il gruppo di ricerca di Stefano Mancuso partecipa ad alcune attività dell'Agenzia spaziale europea (Esa) che consentono di ottenere condizioni di alterazione della gravità (microgravità e ipergravità), come i voli parabolici. Le informazioni raccolte con queste indagini potrebbero avere significative applicazioni pratiche: «Se vogliamo andare su Marte (un viaggio spaziale che richiederebbe anni, NdR) non possiamo pensare di farlo senza le piante, per almeno tre motivi», chiarisce il ricercatore. «Primo: perché producono di continuo ossigeno. Secondo: perché sono alla base della catena alimentare, quindi potrebbero offrire cibo "fresco". Terzo: perché potrebbero contribuire a mantenere serenità nel gruppo di astronauti, costretti alla convivenza forzata per tempi lunghissimi». Quello delle interazioni tra gli astronauti è il vero punto critico di campagne di questo tipo e alcuni studi in cui sono state simulate a Terra le condizioni di un viaggio su Marte hanno mostrato che la presenza di piantine e la necessità di prendersene cura riducono notevolmente i conflitti. «In assenza totale e prolungata di gravità, una pianta tende a crescere in modo caotico, buttando germogli e radici in tutte le direzioni. Capire che cosa regola la risposta alla gravità potrebbe permettere di intervenire su questi meccanismi, facilitando una crescita "ordinata" della pianta anche nello spazio», conclude Mancuso.

Ricercatori del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale durante un volo parabolico.

CORTESIA STEFANO MANCUSO

Professor Mancuso: ma allora anche le piante hanno un sistema nervoso?
Facciamo subito chiarezza: nelle piante non c'è un analogo "fisico" del tessuto nervoso, quel tessuto costituito da neuroni e altre cellule nervose e specializzato nella trasmissione di segnali elettrici. Eppure possiamo parlare di neurobiologia vegetale perché c'è un'analogia funzionale. In altre parole le piante non hanno neuroni, ma alcune cellule vegetali - in particolare le cellule dell'apice radicale, cioè la punta della radice - sono in grado di produrre segnali elettrici sotto forma di potenziali d'azione (variazioni della differenza di potenziale tra interno ed esterno della membrana plasmatica, NdR) e di trasmetterli alle cellule vicine. Ricordiamo che già Charles Darwin riteneva che gli apici radicali rappresentassero una sorta di "cervello diffuso" delle piante, in grado di percepire segnali dall'ambiente e di "prendere decisioni" sulle strategie da seguire. Oggi sappiamo che le radici possiedono anche meccanismi per l'elaborazione e la trasmissione di questi segnali.

Negli animali uno degli elementi chiave della trasmissione nervosa è rappresentato dai neurotrasmettitori, le molecole che trasportano l'informazione da un neurone all'altro a livello delle sinapsi. C'è qualcosa di simile anche tra i vegetali?
Sì: molti neurotrasmettitori presenti nel nostro cervello (glutammato, serotonina, dopamina, acetilcolina ecc.) sono presenti anche nelle piante. In questo caso non li chiamiamo neurotrasmettitori, perché non stanno in un cervello e perché non sempre la loro funzione è nota, però ci sono. E per alcuni è stato mostrato un ruolo fondamentale in meccanismi di trasmissione delle informazioni.
Per esempio: una radice ha la costante necessità di sapere con estrema precisione che cosa accade nell'ambiente circostante. Questa "conoscenza" le deriva dall'attività degli apici radicali, ciascuno dei quali è in grado di "sentire", cioè percepire e valutare, almeno 15 parametri chimici e fisici differenti (temperatura, grado di salinità, grado di umidità e così via), che devono essere integrati ed elaborati per individuare la direzione di crescita ottimale. È stato scoperto che il glutammato è fondamentale per questa elaborazione: se manca oppure è presente in eccesso, la radice si comporta come se avesse perso il senso dell'orientamento e cresce in modo anomalo.

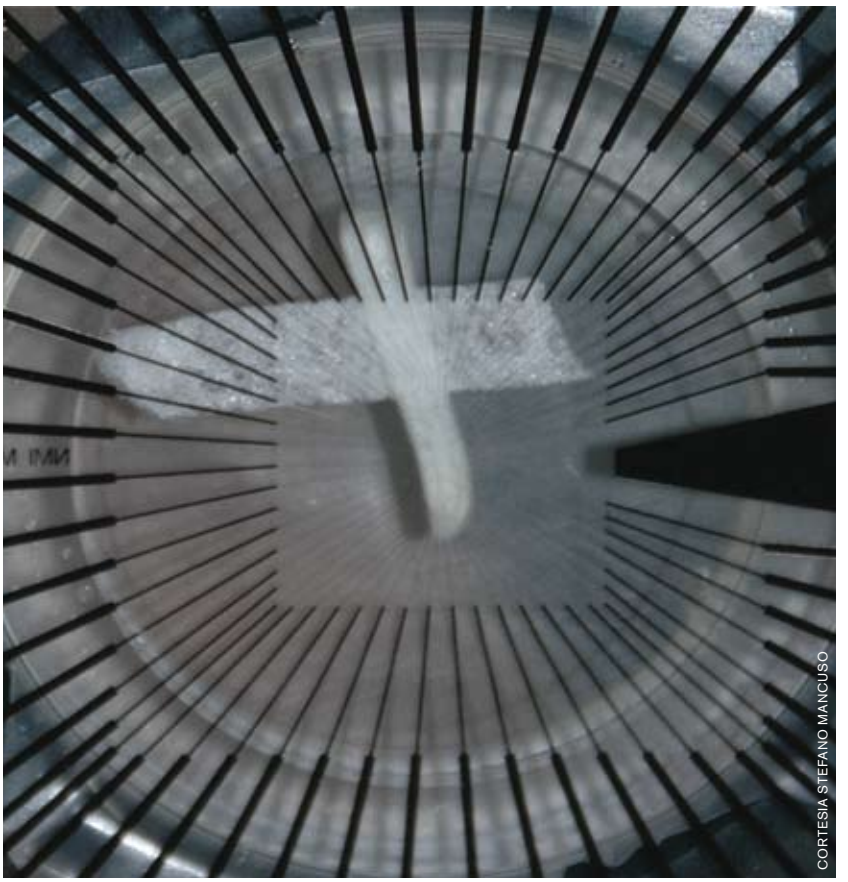
Elaborazione grafica dei potenziali d'azione rilevati in un apice radicale attraverso microelettrodi multipli.

In che modo lei e il suo gruppo di ricerca siete arrivati a capire che gli apici radicali possiedono la capacità di integrazione, elaborazione e trasmissione di informazioni?
Il punto di svolta è stato la scoperta che una particolare zona degli apici radicali – la zona di transizione – consuma molto più ossigeno delle zone vicine, una condizione che è indizio di forte richiesta energetica e, dunque, della presenza di qualche intensa attività. Eppure, all'inizio la zona di transizione non sembrava partecipare ad attività a forte dispendio energetico, come può essere la moltiplicazione cellulare. E allora: perché la zona di transizione consuma tanto ossigeno se – in apparenza – non fa nulla di speciale? La nostra ipotesi era che possedesse un'attività analoga a quella dei neuroni e in effetti con il tempo abbiamo mostrato che le cellule di questa zona sono in grado di generare e trasmettere potenziali d'azione.

Con quali approcci e strumenti affrontate in laboratorio questi argomenti? E con quali organismi modello lavorate?
Usiamo metodi e strumenti di differenti discipline. Dalla biologia cellulare abbiamo "preso" i microscopi, sia ottici (compreso il microscopio confocale a fluorescenza, che permette di visualizzare nel campione differenti molecole opportunamente marcate), sia elettronici. Dall'elettrofisiologia abbiamo mutuato l'uso di microelettrodi (dotati di punte con dimensioni inferiori al millesimo di millimetro), gli strumenti che servono a misurare i potenziali d'azione nei neuroni. Noi li utilizziamo per studiare la produzione di segnali elettrici in singole cellule vegetali, oppure i flussi ionici, cioè i movimenti degli ioni verso l'interno e l'esterno delle cellule. Infine, dalla biologia molecolare abbiamo imparato ad analizzare e manipolare DNA e RNA. Lavoriamo molto con *Arabidopsis thaliana*, una piccola pianta versatile e di cui si conoscono molti dettagli. Però lavoriamo anche con altri modelli: tabacco, mais e pomodoro come piante erbacee e olivo e vite come piante arboree.

Gli apici radicali possono dunque essere considerati, in metafora, il "cervello" della pianta. Ma perché proprio gli apici? E quali sono, allora, le "attività cognitive" vegetali?
Una delle ragioni più ovvie per spiegare perché le piante hanno sviluppato un'attività simil neurale a livello degli apici sta nel fatto che questi risiedono sottoterra: il suolo, infatti, è un ambiente più stabile rispetto all'atmosfera per temperatura e umidità, e per di più protetto dalla predazione animale e dalla radiazione ultravioletta solare. Quanto alle attività "cognitive", alcune le abbiamo già accennate: per esempio, la capacità di raccogliere informazioni ambientali, integrarle e reagire di conseguenza. Le piante, poi, mostrano grandi capacità di comunicazione intra e interspecifica, ma anche di apprendimento (e dunque di memoria) e di calcolo di costi-benefici.

Mi sta dicendo che le piante ricordano?
Non nel senso comune che diamo alla parola ricordare, naturalmente: le piante non ricordano volti o emozioni, ma possono ricordare particolari condizioni ambientali che hanno incontrato in passato e la risposta fisiologica adeguata per quelle condizioni. Per capire meglio che cosa intendo dire partiamo dagli animali. Per "misurare" la capacità di apprendimento di un animale, in



Sezione longitudinale di un apice radicale fissato su un sistema detto MultiElectrode Array (MEA): una sorta di chip contenente microelettrodi multipli per la rilevazione di potenziali d'azione.

genere gli si sottopone un problema più volte e si valuta se la sua capacità di risolverlo migliora nel tempo. Se questo accade, diciamo che l'animale ha imparato a riconoscere il problema - quindi lo ricorda - e a reagire di conseguenza. Ecco: lo stesso si può fare con le piante.

Quali problemi si possono sottoporre a una pianta?

Si tratta di problemi intesi come condizioni ambientali, per esempio una condizione di difficoltà, di stress, come la presenza di un'eccessiva salinità nel suolo. La prima volta che una pianta incontra questa condizione mette in atto una serie di risposte metaboliche necessarie a permetterle di sopravvivere; se la condizione torna alla normalità (la salinità si abbassa), anche il metabolismo della pianta lo fa. Ma supponiamo ora che torni a verificarsi una situazione di alta salinità: se la pianta reagirà più in fretta, mettendo in atto più velocemente le risposte metaboliche necessarie a sopravvivere, significa che avrà ricordato il caso e avrà imparato come reagire al meglio. Ebbene: è stato verificato che questo è esattamente quello che accade.

Diceva che le piante possono effettuare calcoli di rapporti costi-benefici. Può fare un esempio?

Supponiamo di osservare una pianta che cresce accanto a un'altra. Le due competono per un bene essenziale per la vita vegetale: la luce solare, fonte primaria di energia. Supponiamo che la "nostra" pianta sia più bassa dell'altra e che quindi riceva meno luce. Questa è una tipica situazione in cui la pianta deve prendere una decisione: restare com'è, accontentandosi della poca luce che le arriva, oppure investire risorse nella crescita, nel tentativo di superare l'altezza della sua competitrice?
Per il mio modo di vedere, scegliere questa seconda strada significa tentare una previsione del futuro: "immaginare" che i sacrifici richiesti per allungarsi saranno ricompensati dalla maggior disponibilità di luce.

Ma come si fa a sapere che l'allungamento della pianta è frutto di un calcolo e non di un meccanismo automatico, geneticamente determinato?

Certo, il dubbio può venire. Però proviamo a pensare a che cosa accade se, invece che un solo fattore - la luce solare - ne prendiamo in considerazione contemporaneamente altri, proprio come deve fare la pianta: salinità, umidità, concentrazione di azoto, presenza di parassiti e così via. Di fronte a un quadro così complesso, la "decisione" sulla direzione in cui crescere (puntare di più sullo sviluppo fogliare? Sull'allungamento del fusto? Sullo sviluppo delle radici? Sulle difese contro i patogeni?) non può essere una risposta automatica, ma deve dipendere dall'integrazione ed elaborazione delle informazioni, fino a stabilire quale necessità, di volta in volta, è più stringente.

Ci può dire qualcosa anche sulla comunicazione tra piante?

Comunicazione è sicuramente una delle parole chiave della neurobiologia vegetale. Abbiamo visto che le cellule di un'unica pianta comunicano tra di loro, in modi analoghi a quelli che finora si ritenevano esclusivi degli animali. Le piante, però,

sono abilissime anche nel comunicare con altri organismi della stessa specie o di altre. Le radici, per esempio, secernono nel suolo una gran quantità di sostanze che costituiscono veri e propri messaggi di segnalazione, e lo stesso fanno le foglie e i fiori, con molecole volatili. In alcuni casi si tratta di "armi chimiche", dirette contro le piante circostanti con l'obiettivo di ostacolarne crescita e sviluppo, o contro predatori, per allontanarli. Altri segnali, invece, sono "amichevoli", e servono per attirare impollinatori o per avvertire altre piante della propria comunità della presenza di pericoli: numerosi studi hanno mostrato che le piante attaccate da insetti erbivori o da patogeni emettono sostanze volatili in grado di segnalare il pericolo alle piante vicine, dando loro il tempo di prepararsi per affrontarlo, con modifiche della propria fisiologia che le rendano più resistenti.

Ma non converrebbe a una pianta sottoposta all'attacco da parte di un patogeno concentrarsi sulla sua risposta, senza perdere tempo e risorse per avvisare gli altri? Non le converrebbe essere egoista piuttosto che altruista?

Consideriamo il problema in ambito evolutivo e immaginiamo di avere una pianta infestata "egoista", cioè concentrata solo a difendere sé stessa. Poiché non ha avvertito le piante vicine, è molto probabile che anche queste finiranno con l'essere attaccate dal patogeno che, di conseguenza, rimarrà "in zona" e potrà tornare a infestare più volte la pianta egoista.
Non solo: in seguito all'infestazione, le vicine possono morire, e allora la nostra pianta egoista, anche se rimasta in vita, non avrà nessuno nei dintorni con cui riprodursi. Insomma, proprio come nel mondo animale, anche in quello vegetale ci sono situazioni in cui conviene, evolutivamente parlando, essere altruisti.

Le piante non comunicano solo all'interno del loro mondo, ma anche con gli animali...

È proprio così, basti pensare ai segnali visivi (i colori) e olfattivi che emettono i fiori per attirare gli insetti e indurli in questo modo a effettuare il servizio di impollinazione. E ancora: molte piante attaccate da predatori o da patogeni producono sostanze repulsive nei confronti del nemico, oppure in grado di attirare predatori del nemico stesso (secondo la nota logica "il nemico del mio nemico è mio amico"). Tra le più comuni, lo fanno per esempio il tabacco, il pomodoro, le melanzane. Questa proprietà e quella di avvertimento alle piante vicine possono essere sfruttate in ambito agrario: se inondiamo una coltura con un "messaggio di avvertimento", la prepariamo all'attacco, rispetto al quale sarà più resistente.

Senta professore, dopo tutte queste informazioni una domanda viene spontanea: le piante sentono dolore?

Esiste una specie di convenzione scientifica secondo la quale questa è una domanda che non ci si deve proprio porre. Io però ritengo davvero improbabile che organismi così complessi siano privi di un sistema in grado di distinguere il "bene" dal "male" (inteso come qualcosa di pericoloso per la sopravvivenza), che è proprio la funzione fondamentale del dolore. Seguendo questo ragionamento, mi sembra dunque probabile che le piante possano soffrire anche se, allo stato attuale delle conoscenze, non possiamo dire "come", né sappiamo in che modo affrontare il problema: è possibile che abbiano meccanismi di percezione di ciò che è bene o male per la loro vita molto differenti dai nostri.

MOZART TRA I FILARI

Montalcino, in Toscana, patria del famoso Brunello, uno dei vini più pregiati d'Italia. Qui, passeggiando tra i vigneti di alcuni produttori, può capitare di trovarsi immersi non solo tra i grappoli, ma anche nella musica: Mozart, Vivaldi, musica barocca. Non è una stravaganza, ma un esperimento scientifico e tra i gruppi di ricerca che ci lavorano c'è anche quello di Stefano Mancuso. «L'idea è semplice: i suoni non sono altro che vibrazioni e sappiamo che le piante sono perfettamente in grado di percepire vibrazioni, attraverso particolari strutture cellulari dette canali meccanosensibili», spiega Mancuso. Non è ancora del tutto chiaro a che cosa serva questa percezione, ma un'ipotesi è che si tratti di un modo per "sentire" il passaggio dell'acqua nel terreno. Il senso degli esperimenti condotti a Montalcino è dunque capire che cosa succede a una pianta sottoposta a vibrazioni sonore di particolari frequenze: a proposito, la scelta del repertorio musicale non ha valore scientifico, ma di "gusto". I primi risultati stanno arrivando: «Sembra che le viti esposte alla musica maturino una decina di giorni prima delle altre: un comportamento interessante per i produttori, che temono il maltempo in caso di vendemmie tardive». Altre ricerche suggeriscono che le vibrazioni sonore potrebbero proteggere le piante da insetti patogeni, interferendo con il loro comportamento riproduttivo.

IN RETE!

Mancuso al TED Intervento video sull'intelligenza vegetale. **www.ted.com/talks/lang/eng/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intelligence.html**

Linv Sito del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale. Dalle sezioni *Papers* e *Popular science* si possono scaricare diversi articoli scientifici e divulgativi. **www.linv.org**

VALENTINA MURELLI
è giornalista e redattrice scientifica free lance. Collabora con varie testate tra cui "Le Scienze", "Meridiani", "L' Espresso" e "OggiScienza".

Un passo in avanti

PIANTE CHE "AMANO" FORMICHE

Non è insolito, durante una passeggiata in campagna, imbattersi nel frenetico via vai di formiche sui rami di qualche pianta. È un caso di *mirmecofilia*, termine che sembra difficile ma significa semplicemente "amore per le formiche", descrivendo in questa specifica situazione una simbiosi tra alcune piante e questi insetti. Trattandosi di simbiosi l'associazione è vantaggiosa per entrambe le parti: le formiche ricevono nutrimento e luoghi protetti in cui ripararsi e allo stesso tempo tengono lontani piccoli predatori che potrebbero danneggiare l'ospite.

Il papà della biologia vegetale

A descrivere la mirmecofilia fu, nella seconda metà dell'Ottocento, il botanico italiano Federico Delpino, uno dei più importanti del suo tempo: «Il più grande dopo Darwin tra i botanici viventi», scriveva nel 1883 lo svizzero Arnold Dodel Port. Delpino, nato a Chiavari nel 1833 e morto a Napoli (dove dirigeva il giardino botanico dell'Università) nel 1905, è riconosciuto padre fondatore della biologia vegetale, intesa come disciplina focalizzata sullo studio dei meccanismi utilizzati dalle piante per interagire con l'ambiente circostante. Si deve a questo botanico, per esempio, l'idea di studiare attività vegetali complesse, come la difesa, la riproduzione, la dispersione dei semi, la vita sociale, con un approccio mentale analogo a quello etologico, usato fino a quel momento solo per lo studio degli animali. E a lui si devono anche alcuni termini tecnici della nuova disciplina, quali *anemofilia* ed *entomofilia*. Un personaggio di grande rilievo, dunque, al quale anche Charles Darwin offrì la sua stima e la sua amicizia. E proprio da una disputa con Darwin nacque l'interesse di Delpino per la mirmecofilia.

Delpino "contro" Darwin

Oggetto del contendere fu un particolare tipo di nettare, dunque una sostanza molto zuccherina, prodotto da alcune piante: non nei fiori, ma in altre regioni, per esempio alla base delle foglie. Per Darwin, questo nettare extrafiorale non era altro che materiale di scarto. Ecco che cosa scriveva nell'*Origine delle specie* (1859): «Certain plants excrete sweet juice, apparently for the sake of eliminating something injurious from the sap: this is effected, for instance, by glands at the base of the stipules in some *Leguminosae*, and at the backs of the leaves of the common laurel. This juice, though small in quantity, is greedily sought by insects; but their visits do not in any way benefit the plant». A Delpino, però, questa spiegazione non quadrava affatto: come è possibile - si chiedeva - che una sostanza così ricca di zuccheri (e dispendiosa da produrre) possa essere solo un rifiuto? Se la pianta tollera una simile perdita, significa che quel nettare extrafiorale deve avere una qualche funzione. E perché non una funzione analoga a quella del nettare fiorale, cioè di attrazione per gli insetti?

Il vantaggio della vita in comune

Con questa ipotesi in mente, Delpino si mise al lavoro sul campo: in una prima indagine condotta tra Liguria e Toscana, il botanico descrisse ben 80 specie di piante mirmecofile, mentre in una monografia pubblicata nel 1886 elencò 3000 specie (in tutto il pianeta) in grado di secernere nettare extrafiorale, oltre a 130 specie capaci di attrarre formiche fornendo loro nidi o ripari. Egli inoltre osservò che effettivamente l'associazione con insetti e in particolare con formiche portava vantaggi concreti alle piante in termini di riduzione della pressione da parte di predatori: altro che rifiuti!

Formiche (*Pseudomyrmex ferruginea*) sulla pianta mirmecofila *Acacia cornigera*.

RYAN SOMMA / LICENZA CC

PER APPROFONDIRE

— S. Mancuso, *Federico Delpino and the foundation of plant biology*, in "Plant Signaling Behavior", 2010, vol. 5, pp. 1067-1071. Scaricabile in pdf dal sito **www.linv.org** (sezione *Papers*).

Ora tocca a te

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Definisci i seguenti termini che hai incontrato nella lettura dell'articolo: neurone, neurotrasmettitore, potenziale d'azione, sinapsi. Alla fine, traccia uno schema che illustri in modo semplificato il meccanismo della trasmissione nervosa negli animali.

2. Nel testo si legge che il consumo di ossigeno da parte di cellule e tessuti è correlato alla loro richiesta energetica. Puoi spiegare questa affermazione?

3. Prepara una breve presentazione che spieghi i meccanismi di riproduzione sessuata nelle angiosperme e che illustri i differenti tipi di impollinazione, cercando di inserirvi il maggior numero possibile di immagini significative.

4. *Arabidopsis thaliana* è il principale organismo modello impiegato negli studi di biologia vegetale. Prepara una presentazione della durata di una ventina di minuti per illustrare ai tuoi compagni quali sono le caratteristiche fondamentali di questo organismo, soffermandoti in particolare su quelle che lo hanno reso adatto per gli studi in laboratorio. Cerca inoltre di individuare qualche esempio di indagine scientifica condotta su questo organismo.

5. Chi non vorrebbe provare a galleggiare come gli astronauti, almeno una volta nella vita? Per riuscirci non è necessario andare nello spazio, perché anche sulla Terra è possibile provare una tale emozione. Lo si può fare con i voli parabolici che, insieme alle torri di caduta e ai missili balistici, sono delle vere e proprie simulazioni di microgravità a terra. Prova a realizzare una presentazione sull'argomento, inserendo anche qualche video, che troverai su YouTube.

6. Esamina attentamente il seguente testo, in cui Charles Darwin descrive alcune esperienze da lui eseguite sulla pianta carnivora *Drosera*, che cattura le sue prede ripiegando strettamente le foglie trasformate. Poi fornisci una spiegazione logica alle sue osservazioni.
[L'estratto appartiene alla traduzione dell'opera *Le piante insettivore*, di Giovanni Canestrini e P.A. Saccardo, pubblicata nel 1878].

Fluidi non nitrogenati
Zucchero - Gocce d'una soluzione di zucchero bianco di tre forze (la più debole conteneva una parte di zucchero in 73 d'acqua) furono lasciate su quattordici foglie da 32 a 48 ore; ma non fu prodotto alcun effetto.
Amido - Una mistura densa all'incirca come la crema, fu fatta cadere su sei foglie e lasciata su esse per 30 ore, senza produrre alcun effetto. Sono sorpreso di questo fatto, poiché credo che l'amido, che è in commercio, contenga qualche traccia di glutine, e questa sostanza nitrogenata cagiona incurvamento, come vedremo nel prossimo capitolo.
Fluidi nitrogenati
Latte - Se ne posero delle gocce su sedici foglie, ed i tentacoli di tutte, come pure le lamine di parecchie, divennero tosto assai incurvate. I 72 periodi furono notati solamente in tre casi, cioè per le foglie su cui erano state poste delle gocce inusitatamente piccole. I loro tentacoli erano alquanto incurvati in 45 minuti; e dopo 7 ore e 45 minuti le lamine di due erano tanto curvate da formare piccole coppe contenenti le gocce.
Albume - (fresco da un uovo di gallina) posto su sette foglie, fece piegar bene i tentacoli su sei di esse. In un caso lo stesso orlo della foglia divenne molto arricciato dopo 20 ore.

SCIENZA E SOCIETÀ

Lo studio dei sistemi di comunicazione delle piante potrebbe portare a innovazioni e applicazioni in ambito agrario, con l'obiettivo di aumentare la produttività riducendo l'impatto ambientale delle pratiche agricole. Generalizzando potremmo dire che esistono tre sistemi agricoli principali: l'agricoltura "tradizionale" (quella che fa ricorso a colture intensive e a fertilizzanti chimici), l'agricoltura biologica e le colture di piante geneticamente modificate (Ogm). Con un gruppo di compagni, concentrati su uno di questi sistemi e prepara una presentazione che ne illustri le caratteristiche e i metodi principali, i vantaggi per la produttività e l'ambiente, i limiti e il grado di accettazione sociale. Altri compagni possono preparare presentazioni sugli altri due sistemi, per poter confrontare alla fine le informazioni ottenute.

La fisica del **groviglio**

Attenzione, parliamo di *entanglement*. Un fenomeno che sembra ai confini della fantascienza, ma è invece al cuore della meccanica quantistica. Ed è pronto a riservarci brillanti sorprese.

FRANCESCA E. MAGNI

Per garantire la sicurezza delle nostre carte di credito, presto le banche potranno rivolgersi non più alle forze dell'ordine, ma alla fisica e in particolare a fenomeni quantistici chiamati *principio di sovrapposizione* ed *entanglement*. Proprio in Italia, in questi ultimi anni sono già stati realizzati prototipi in grado di fornire carte di credito sicure, inattaccabili da hacker e ladri informatici. L'entanglement è un fenomeno fisico che riguarda principalmente (ma non solo) il mondo microscopico (dal miliardesimo di metro in giù), quello degli atomi, degli elettroni e dei fotoni, i piccolissimi "pacchetti di energia" che compongono la luce. È il mondo descritto da una teoria fisica relativamente giovane, la *meccanica quantistica* o *teoria dei quanti*.

Consideriamo per esempio due fotoni che vengano emessi insieme da uno stesso atomo e che si allontanino l'uno dall'altro fino a raggiungere quasi i confini dell'Universo (se mai esistono!).

L'entanglement dice che il sistema dei due fotoni si comporta come un sistema unico, indipendentemente da quanto essi distino tra di loro. Questo significa che se succede qualcosa al

Se state ballando abbracciati a qualcuno che scivola su una buccia di banana cadrete anche voi, perché siete "legati": ai fotoni *entangled* succede un po' la stessa cosa, anche se li possiamo trovare in due discoteche diverse

BARBARA ROSENTHAL

Il fisico Matteo Paris, dell'Università di Milano, esperto di *Quantum Information*.

primo (per esempio essere "avvistato", rivelato da un osservatore), anche il secondo ne sarà inevitabilmente influenzato. Se state ballando abbracciati a qualcuno che scivola su una buccia di banana, cadrete anche voi, perché siete "legati". Ecco, ai fotoni *entangled* succede un po' la stessa cosa, anche se li possiamo trovare in due discoteche diverse: non appena ne vediamo inciampare uno, siamo sicuri che anche l'altro starà facendo uno scivolone. Il termine entanglement è stato inventato nel 1926 da un padre della meccanica quantistica, il premio Nobel austriaco Erwin Schrödinger: lo si potrebbe tradurre come groviglio, intreccio, legame, "non-separabilità", ma gli scienziati preferiscono lasciarlo in inglese.

Particelle ubique

Le frasi che ho appena scritto contengono qualcosa di molto strano per noi, esseri macroscopici abituati a considerare gli oggetti separati da distanze spaziali come oggetti distinti e – dirò di più – abituati a essere in un posto solo in un determinato momento. A pensare, cioè, che l'ubiquità appartenga solo alle divinità e ai personaggi dei giochi di ruolo. Invece stiamo scoprendo che appartiene anche ai sistemi fisici reali, quelli entangled appunto, costituiti da sottosistemi che possono essere contemporaneamente in due posizioni distinte, non importa quanto lontane tra di loro, e che però non possono essere considerati indipendenti. Tornando all'esempio dei nostri due fotoni, abbiamo detto che essi costituiscono un sistema unico, con un'unica identità: i due fotoni sono solo due suoi sottosistemi, anche se poi a noi esseri umani si manifestano come due *click* diversi su due strumenti di misura separati.

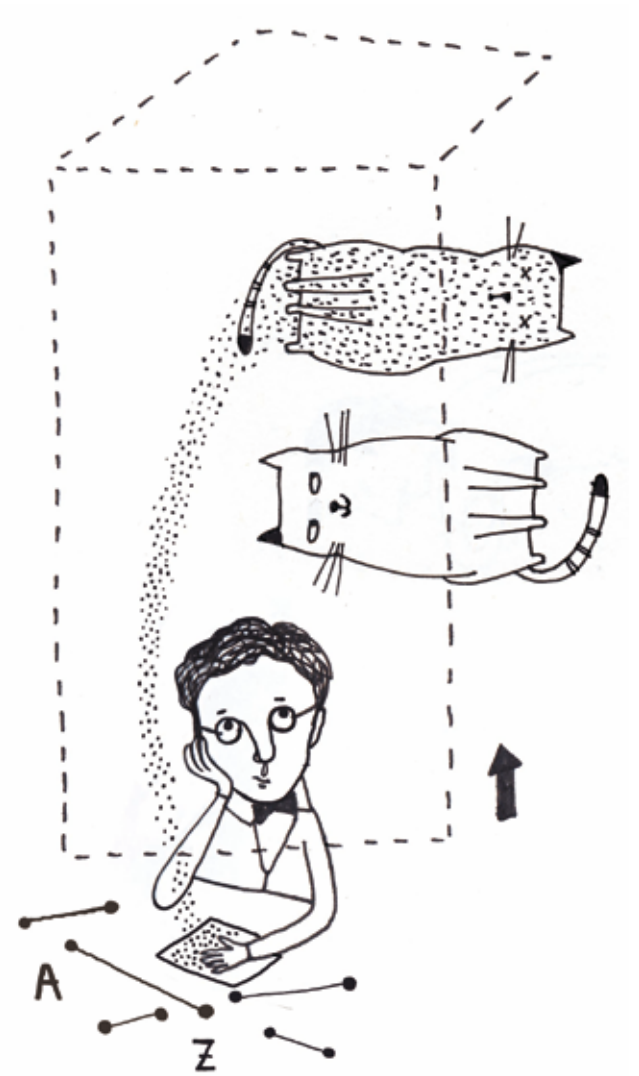
Questa caratteristica, in termini tecnici, si chiama *non località*, ed è il contrario della *località*, secondo la quale due fenomeni spazio-temporali distinti non si possono influenzare l'un l'altro se non dopo un certo intervallo di tempo. In altre parole, la misura effettuata sullo stato di un determinato fotone o particella non può influenzare lo stato di un'altra particella in maniera istantanea, perché le informazioni tra due corpi separati non possono trasmettersi a una velocità maggiore di quella della luce. Insomma, per la località, le due misure devono essere indipendenti l'una dall'altra, possono agire solo localmente. La non località invece prevede che la misura dello stato di una particella possa determinare immediatamente lo stato della seconda, anche in assenza di interazioni macroscopiche.

Il gatto di Wheeler

A questo punto bisogna introdurre un altro concetto importante che, insieme a quello della non località, rappresenta la base teorica per interpretare l'entanglement: il principio di *sovrapposizione degli stati*. Per *stato* di un fotone o di un elettrone, per esempio, si intende l'insieme costituito dai valori delle grandezze fisiche che lo descrivono, come posizione spazio-temporale, quantità di moto, polarizzazione, fase, spin ecc. Due o più fotoni con polarizzazioni diverse sono in

IL GATTO DI SCHRÖDINGER

Il famoso gatto nacque nel 1935 dalla mente di Erwin Schrödinger, che non accettava il concetto di sovrapposizione degli stati della meccanica quantistica che invece convinceva altri scienziati come Bohr, Heisenberg, Born, tutti sostenitori della cosiddetta *Interpretazione di Copenaghen*. Schrödinger immaginò un gatto rinchiuso in una scatola, in balìa di una catena di reazioni in grado di ucciderlo e generata dal decadimento radioattivo di una quantità piccolissima di materia. In questo esperimento mentale, quindi, la vita del gatto *macroscopico* dipende da un fenomeno quantistico *microscopico*. L'interpretazione di Copenaghen afferma che prima di aprire la scatola gli atomi della sostanza radioattiva sono in una sovrapposizione di stati, che "collassano" in uno stato solo quando l'osservatore compie la misura. Secondo Schrödinger, però, in questo modo anche il gatto, prima di aprire la scatola, si troverebbe nella sovrapposizione di tutti i possibili stati, quindi sia morto sia vivo! Per il fisico questo era un bel paradosso e lo è davvero se si ragiona secondo la logica classica, che è una logica di tipo *aut-aut*. In meccanica quantistica bisogna invece adottare un nuovo tipo di logica et-et, che sembra strana perché non la incontriamo mai nella nostra vita quotidiana.



stati diversi, come due o più elettroni in posizioni diverse e così via. Per generare in modo sperimentale due o più particelle entangled ci sono vari metodi, come quelli che utilizzano gli interferometri o i cristalli semiriflettenti o i circuiti superconduttivi e altro ancora (rimandiamo la descrizione degli aspetti sperimentali ai due testi consigliati in bibliografia).
Le particelle entangled assumono sempre lo stato del sistema globale, che è la somma, o meglio la sovrapposizione, di tutti i possibili stati della combinazione di tutte le particelle. Qui c'è lo zampino del famoso gatto di Schrödinger e mi spiego subito: i due fotoni citati all'inizio (quelli emessi da uno stesso atomo) possono essere avvistati in due posizioni diverse, una al confine A dell'Universo e l'altra al confine Z. Quando misureremo la loro posizione, uno sarà nello stato A e l'altro nello stato Z, ma possiamo dire già prima della misura quale dei due fotoni si troverà in A e quale in Z? Questa domanda non ha senso, perché secondo la meccanica quantistica i due fotoni, prima di essere avvistati, si trovano nello stato A+Z, che è quello dell'entità complessiva che li contiene. Quindi i due fotoni si trovano in una sovrapposizione di stati: sono in entrambe le posizioni, sia in A sia in Z (e lo stesso vale per le loro polarizzazioni, per fare un altro esempio di stato). Un po' come il gatto di Schrödinger che, prima di aprire la scatola, è sia vivo sia morto; l'esempio che ho appena citato si chiama *gatto di Wheeler* se si considerano (in maniera del tutto immaginaria!) due gatti A e Z al posto di fotoni o elettroni.

Un po' di storia (e di filosofia)

Dicevamo che l'entanglement è un fenomeno che si spiega nell'ambito della meccanica quantistica. Il primo a nominare il termine *quanto* fu Max Planck nel 1900, quando ipotizzò che l'energia potesse essere scambiata solo sotto forme discrete, i *pacchetti di energia*, cioè come tante pillolette distinte una dall'altra e non come uno sciroppo, che si versa con continuità. L'ipotesi di Planck, per quanto azzardata, si è dimostrata corretta. È grazie a questa ipotesi che si sono spiegati fenomeni incomprensibili per la fisica classica, come la

radiazione emessa da un corpo nero o l'effetto fotoelettrico.
La storia della meccanica quantistica contiene concetti che vennero considerati paradossali dai primi scienziati che li incontrarono e che sono stati fonte di accesi dibattiti filosofici. Del resto tutta la fisica, anche quella classica, è piena di elementi non intuitivi, come ha mostrato lo psicologo Paolo Bozzi con i suoi esperimenti narrati nel libro *Fisica ingenua* (Garzanti, 1998). In uno di questi esperimenti si facevano vedere a un campione di persone due filmati diversi di una pallina che cadeva, la prima volta a velocità costante e la seconda con un moto uniformemente accelerato (il moto che avviene in natura, nel vuoto). Alla domanda su quale dei due video rappresentasse il modo corretto di caduta dei corpi, la maggioranza dei partecipanti allo studio rispondeva indicando il moto sbagliato, cioè il primo, proprio come aveva predetto Aristotele! Lo stesso Aristotele che sosteneva, fidandosi del proprio ragionamento intuitivo, che il moto nel vuoto era impossibile e che il Sole girava intorno alla Terra immobile.

Il primato di Galileo

Il primo a introdurre elementi controintuitivi in fisica fu il primo a fare fisica sperimentale e cioè Galileo, che si fidava più della risposta della natura che di quella della propria mente. Con il primo principio della dinamica, Galileo andò contro la convinzione, accettata da tutti fino ad allora, che per mantenere un corpo in movimento ci fosse bisogno di una spinta continua: nel vuoto, un corpo non aveva bisogno di nessuna forza per muoversi a velocità costante. Dunque il movimento nel vuoto esisteva. E nel vuoto i corpi di massa diversa che cadevano da una stessa altezza impiegavano lo stesso tempo: cadevano insieme. Più controintuitivo di così!

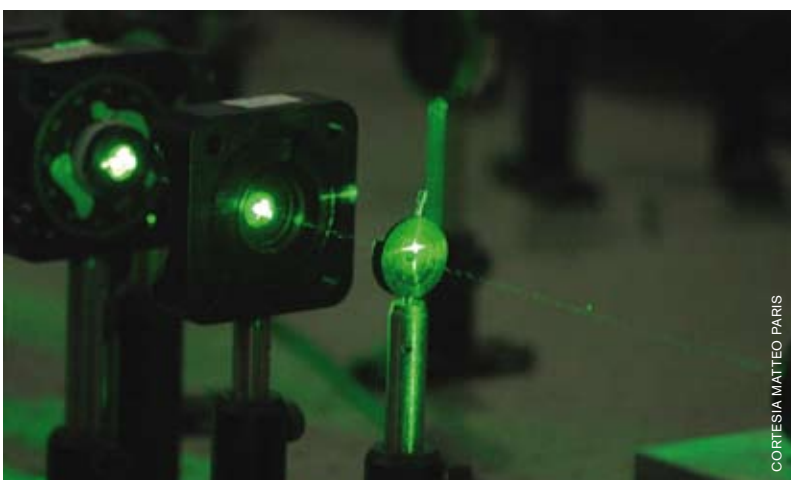
Matematica contro intuizione

Ma torniamo alla meccanica quantistica: l'entanglement stesso va fortemente contro le convinzioni del senso comune. Ed ecco un altro esempio: se la teoria della relatività di Einstein ha cambiato la concezione classica del tempo, dimostrando che gli intervalli di tempo dipendono dallo stato di moto di chi li misura, la teoria quantistica ha rimesso in discussione il ruolo stesso dell'osservatore esterno in un esperimento, affermando che la sua azione disturba irrimediabilmente la misura.

La storia della meccanica quantistica contiene concetti considerati paradossali dai primi scienziati che li incontrarono e che sono stati fonte di accesi dibattiti filosofici; del resto, tutta la fisica è piena di elementi non intuitivi

Partendo da questi presupposti è naturale che la meccanica quantistica abbia implicazioni filosofiche importantissime, considerate a tal punto rivoluzionarie che lo stesso Einstein non le accettò mai. Valgano solo due esempi: il primo è la negazione del *principio di realtà* o *realismo*, secondo il quale una quantità possiede valori definiti in maniera indipendente dal fatto di essere stata misurata o meno: alla domanda «se un albero cade e nessuno lo vede è caduto davvero?», il realista risponde «sì», mentre il fisico quantistico risponde «questa domanda non ha senso, lo sapremo solo quando lo vedremo». Anzi, per portare alle estreme conseguenze la metafora della sovrapposizione di stati, egli potrebbe rispondere «l'albero è sia in piedi sia caduto fino a quando non lo andiamo a vedere». Il secondo esempio è la negazione della validità della relazione di causa-effetto che la nostra mente associa all'evoluzione di un fenomeno fisico e che è considerata alla base del *fare scienza*: nell'entanglement, infatti, una particella cambia il suo stato "istantaneamente", senza che una causa abbia avuto il tempo di provocare quell'effetto.
Le nostre concezioni intuitive sul comportamento dei fenomeni fisici sono dunque inadeguate, ma per fortuna siamo riusciti a ideare una matematica che li descrive adeguatamente. Insomma, se

Dettaglio dell'interferometro utilizzato dal gruppo di Matteo Paris per stimare l'entanglement.


CORTESIA MATTEO PARIS

IL TELETRASPORTO QUANTISTICO

Il teletrasporto esiste, ma non ha nulla a che vedere con *Star Trek*. Parliamo di teletrasporto quantistico, che non trasporta materia, ma informazione. Proprio come i nostri fax, che trasferiscono immagini riproducendole da un foglio all'altro. Più in dettaglio, il teletrasporto quantistico consiste in una duplicazione a distanza dello *stato* di una particella da un luogo a un altro, come per esempio lo stato di polarizzazione da un fotone a un altro. I primi stati di fotoni teletrasportati si devono a due gruppi di ricerca internazionali diretti rispettivamente da Francesco De Martini dell'Università Sapienza di Roma e da Anton Zeilinger. Quest'ultimo, nel 2004, ha ottenuto un teletrasporto di 600 metri attraverso una fibra ottica, da una parte all'altra del Danubio. A maggio del 2010, in Cina, i ricercatori dell'Hefei National Laboratory for Physical Sciences hanno raggiunto i 16 km e senza l'aiuto di fibre ottiche! Nel 2006, inoltre, all'Istituto Niels Bohr di Copenhagen alcuni ricercatori hanno teletrasportato uno stato *collettivo* da un gruppo di circa un trilione di atomi a un altro. Il teletrasporto applicato agli atomi – e cioè alla materia – è un processo molto fragile rispetto a quello sui fotoni, a causa del cosiddetto processo detto di *decoerenza*, che per colpa delle interazioni con l'ambiente distrugge gli effetti quantistici, entanglement compreso.

l'intuizione non ci aiuta, la matematica sì. Ecco allora che possiamo considerare la meccanica quantistica come una teoria matematica alternativa a quella classica, che riesce a descrivere e a predire il comportamento di sistemi fisici che contengono elementi non intuitivi.

Fotoni alle Canarie

Proprio la matematica è stata fondamentale per la verifica sperimentale dell'entanglement, resa possibile dal contributo teorico formulato dal fisico irlandese John Bell nel 1964. Secondo il teorema di Bell è possibile distinguere se un fenomeno è locale (quindi classico) oppure no (quindi non classico, entangled) grazie a una disuguaglianza matematica che coinvolge la somma dei risultati possibili di un esperimento. Qui entrano in gioco calcoli probabilistici che danno risultati diversi a seconda che la natura permetta o non permetta l'entanglement. Se i valori misurati negli esperimenti rispettano la disuguaglianza, "vince" la località, se invece la violano, ha la meglio la non località. Bisogna inoltre ribadire che, al contrario di quelle classiche, le correlazioni quantistiche non comportano più il cosiddetto realismo.
Gli esperimenti che hanno mostrato la violazione della disuguaglianza di Bell risalgono agli anni settanta e furono realizzati da John F. Clauser e Stuart Freedman dell'Università della California a Berkeley e da Ed S. Frey e Randal C. Thomson della Texas A&M University. Negli anni ottanta, infine, il fisico francese Alain Aspect ha ottenuto le conferme sperimentali decisive a sostegno del carattere non locale della meccanica quantistica. Altre conferme sono venute anche dal laboratorio di Anton Zeilinger (Università di Vienna), che nel 2007 ha creato coppie di fotoni entangled a 144 km uno dall'altro, precisamente alle Canarie: dall'isola di La Palma fino a Tenerife!
Il 10 marzo 2010 Aspect, Clauser e Zeilinger hanno vinto il premio Wolf per la Fisica, il secondo in quanto a prestigio dopo il premio Nobel.

Tecnologia quantistica

Chi è arrivato a leggere fino a qui potrebbe avere l'impressione che l'entanglement sia un fenomeno che riguarda la fisica pura, quella teorica, e che non abbia ripercussioni sulla nostra vita di tutti i giorni. Invece non è affatto così. L'entanglement è anche alla base di importanti svolte tecnologiche, come ci ha raccontato il professor Matteo Paris del Dipartimento di fisica dell'Università di Milano. «L'entanglement è una risorsa cruciale. Ci sono innovazioni tecnologiche che possono essere realizzate solo sfruttando questo fenomeno fisico, come il teletrasporto (cioè il trasferimento delle proprietà di un elemento della materia a un altro che è distante dal primo)». E ancora: «I fisici utilizzano l'entanglement per migliorare la trasmissione, l'elaborazione e lo stoccaggio delle informazioni e il principio di sovrapposizione per sviluppare tecnologie emergenti come la crittografia, utile per garantire la privacy dei dati trasmessi in Internet. Ci sono già in commercio campioni di numeri casuali (utili alle banche o alle

PAROLE CHIAVE

Polarizzazione
Il piano di oscillazione del campo elettrico e magnetico che costituisce la luce.

Interferometro
Strumento sperimentale che tramite le figure di interferenza evidenzia i comportamenti quantistici delle particelle.

Spazio di Hilbert
Si tratta di un ente matematico: in termini tecnici è uno spazio vettoriale lineare normato e completo. In fisica, lo spazio di Hilbert viene definito sull'insieme dei numeri complessi e permette di rappresentare matematicamente gli stati dei sistemi quantistici, tramite i suoi vettori.

PER APPROFONDIRE

— A.D. Aczel, *Entanglement*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2004.

— C. Orzel, *La fisica spiegata al mio cane*, Aliberti editore, Roma 2010.

IN RETE!

Il prof. sul web
Sito di Matteo Paris: una sezione è dedicata ad approfondimenti divulgativi.
http://qinf.fisica.unimi.it/~paris

Quantum information
Pagine web di alcuni gruppi di ricerca italiani.
http://camcat.df.unicam.it
www.inrim.it/res/qm
www.qubit.it
http://quantumoptics.phys.uniroma1.it

La candela quantistica
Sito del progetto di ricerca europeo sulla ridefinizione dell'unità di misura dell'intensità luminosa con strumenti della tecnologia quantistica.
www.quantumcandela.org

L'entanglement è una risorsa cruciale: ci sono innovazioni tecnologiche che possono essere realizzate solo sfruttando questo fenomeno fisico

aziende per creare codici sicuri per le carte di credito) che non sono ottenuti da algoritmi, ma direttamente da un sistema quantistico in cui un fotone attraversa uno specchio semiriflettente. In questo modo i numeri sono generati dalla natura stessa, che ha leggi intrinsecamente casuali e così il sistema è assolutamente sicuro! Un'altra applicazione della tecnologia quantistica sono le sorgenti a singolo fotone (dispositivi che emettono impulsi di radiazione luminosa contenenti un unico fotone, NdR) utili per la ridefinizione della candela, l'unità di misura dell'intensità luminosa nel Sistema internazionale».

Misurare l'entanglement

Matteo Paris si occupa di *Quantum Information*, una disciplina che riguarda sia i fondamenti teorici della fisica quantistica sia le applicazioni all'avanguardia nel campo delle nuove tecnologie. Il suo ultimo lavoro, pubblicato sulla rivista *Physical Review Letters* e svolto in collaborazione con l'Istituto nazionale di ricerca metrologica (Inrim) e la Fondazione Isi di Torino, ha fornito una stima dell'entanglement che, per la prima volta, ha raggiunto la massima precisione consentita dalle leggi di natura. «Poiché le prestazioni nella trasmissione e manipolazione di informazioni, per esempio in fibra ottica, migliorano con luce non classica e in particolare con luce entangled», sottolinea Paris, «è di fondamentale importanza saper quantificare l'entanglement in modo da poter sfruttare a pieno nella pratica le sue potenzialità. Senza poter fare valutazioni quantitative precise, infatti, nessun sistema è utilizzabile concretamente». D'altra parte, secondo la meccanica quantistica, l'entanglement presente in un sistema fisico non è una quantità direttamente misurabile ed è necessario individuare una strategia per stimarne il valore in maniera indiretta: è esattamente questo che Paris e il suo gruppo hanno fatto. Tramite un interferometro hanno generato stati di due fotoni con entanglement variabile e hanno poi stimato l'entanglement preparando diversi possibili cammini per i fotoni e misurando quanto e come questi si distribuivano tra i diversi percorsi.
Alla domanda «è possibile capire davvero la meccanica quantistica?» Paris risponde in maniera un po' provocatoria: «Be' bisognerebbe conoscere gli spazi di Hilbert». Subito dopo, però, aggiunge un famoso commento del fisico israeliano Asher Peres, uno dei padri della Quantum information: «Quantum phenomena do not occur in a Hilbert space. They occur in a laboratory».

MULTIMEDIA
www.linxedizioni.it

FRANCESCA E. MAGNI
laureata in fisica, insegnante e pubblicista. Ha collaborato e collabora con riviste di comunicazione della scienza sia cartacee sia online. Cura il blog *lineediscienza* **http://lineediscienza.linxedizioni.it**.

Un passo in avanti

CODICI SEGRETI, ANZI SEGRETISSIMI

Il termine *crittografia* significa "scrittura nascosta" e indica una branca della matematica applicata che studia e sviluppa la struttura dei codici cifrati. Il primo a sfruttare l'*entanglement* in questo campo, creando la *crittografia quantistica*, è stato Arthur Ekert dell'Università di Oxford, nel 1991. Rispetto a quella classica, la crittografia quantistica è in grado di creare codici che nessun hacker potrà mai prevedere, perché sono di natura intrinsecamente casuale, né intercettare senza essere scoperto, perché il sistema è fatto in modo tale da individuare con estrema sicurezza la violazione.
In particolare, la tecnica quantistica utilizza sequenze di fotoni polarizzati in maniera casuale per creare le cosiddette *chiavi* che servono per criptare i messaggi e le leggi della fisica quantistica prevedono che un'eventuale operazione di misura sui fotoni li modifichi in maniera inevitabile. Quindi, se una spia provasse a intercettare questi fotoni, per esempio con un filtro di polarizzazione, li altererebbe senza via di scampo e il suo tentativo di misura verrebbe subito identificato sia dal ricevente sia dall'emittente del messaggio. In questo caso l'inviolabilità del codice non dipende dall'abilità dell'hacker ma dalle leggi di natura.

L'avanguardia italiana

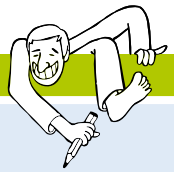
C'è un'altra bella notizia; alcuni ricercatori italiani sono ai primi posti in questo campo d'innovazione tecnologica. Il gruppo del professor Paolo Tombesi del Dipartimento di fisica dell'Università di Camerino, per esempio, ha realizzato per la prima volta nel nostro paese la trasmissione di un messaggio criptato attraverso un canale quantistico in fibra ottica dalla sede del rettorato nel Palazzo ducale di Camerino alla filiale locale della Banca popolare di Ancona. Nei prototipi già realizzati, i fotoni sono stati inviati attraverso fibre ottiche oppure direttamente in atmosfera e si sta studiando come scambiare messaggi cifrati attraverso satelliti.
Sempre a Camerino, è nata la prima società per commercializzare SmartCard (o carte a microprocessore) per carte di credito che utilizzano il protocollo quantistico. E ancora: nel 2008 un gruppo di ricerca delle Università dell'Insubria e di Camerino, in collaborazione con il Centro Volta di Como, ha realizzato la trasmissione quantistica su fibra ottica tra due computer (uno a Como, l'altro a Chiasso) di una email con l'immagine criptata di una carta di credito. È stato simulato anche un attacco hacker che è stato subito scoperto!
L'esperimento ha suscitato l'interesse delle banche e di quei paesi che stanno cercando di affidarsi a Internet anche per le consultazioni elettorali.

Comunicazioni sicure

Sono soprattutto le reti informatiche delle città a costituire il campo di applicazione principale di questa nuova tecnologia. La prima città che ha adottato una rete *anti hacker* tra i suoi edifici municipali è stata Durban in Sudafrica, nell'autunno 2009. Tokyo invece ha completato i collegamenti tra i suoi ministeri nell'ottobre 2010 e sarà seguita a breve da Madrid e Londra, che sfrutteranno le reti quantistiche per la trasmissione di dati sensibili e informazioni private tra istituzioni finanziarie e governative. Il nome tecnico di queste reti è Qkd (quantum key distribution): teniamolo a mente, diverrà sempre più comune. «Stiamo portando la crittografia quantistica fuori dai laboratori di ricerca verso le applicazioni commerciali» afferma Magnus McEwen-King, della QinetiQ Ventures, società internazionale con sede a Londra che fornisce servizi tecnologici per la difesa e la sicurezza dei mercati. E aggiunge: «La crittografia quantistica diventerà il supporto standard alla sicurezza per le reti globali delle telecomunicazioni». *F.E.M.*

NAEL NABIL / ISTOCKPHOTO

Ora tocca a te



DOMANDE E ATTIVITÀ

1. La matematica che sta alla base della meccanica quantistica si basa sull'insieme dei numeri complessi. Prova a cercare materiale teorico su questi numeri: il tuo libro di testo di quarta liceo dovrebbe avere un capitolo a riguardo, mentre per una ricerca in Internet puoi usare le parole chiave "numeri complessi" e "numeri immaginari". Cerca di capire soprattutto la rappresentazione dei numeri complessi tramite i vettori (enti matematici che hai studiato in fisica). C'è una formula matematica molto interessante che lega i numeri complessi, le funzioni goniometriche seno e coseno e la funzione esponenziale: prova a scoprirla!

2. La meccanica quantistica ha portato numerose innovazioni anche nel campo della logica. Il famoso articolo *The logic of quantum mechanics* pubblicato nel 1936 da Garrett Birkhoff e John von Neumann può essere considerato come l'atto di nascita della logica quantistica. Scrivevano gli autori: «Oggetto del presente lavoro è scoprire quali strutture logiche si possono individuare in quelle teorie fisiche che, come la meccanica quantistica, non sono conformi alla logica classica». E inoltre, a proposito del concetto di quanto: «Se volete visualizzare un quanto come un puntino allora siete in trappola. Lo state plasmando con la logica classica. Il punto è che non esiste alcuna rappresentazione classica di esso». Prova a realizzare una presentazione multimediale o un ipertesto in html sulle logiche quantistiche che sia anche un approfondimento interdisciplinare tra matematica, fisica e filosofia. Puoi prendere spunto dai seguenti articoli: *Talete e la logica quantistica* (**www.pd.infn.it/~rnobili/qm/talete.pdf**) e *Le regole della logica quantistica e della logica classica* (**http://xoomer.virgilio.it/paaccom/Polarizzatori.doc**).

3. Una delle applicazioni future dell'entanglement è costituita dai cosiddetti computer quantistici. Cerca materiale sull'argomento e imposta una piccola lezione da tenere ai tuoi compagni. Spiega bene la differenza tra un bit e un qbit.

4. Il concetto di entanglement è nato da dispute di carattere filosofico, ma gli esperimenti hanno mostrato che si tratta di un fenomeno reale con applicazioni pratiche innovative in grado di migliorare la tecnologia attuale. La descrizione dell'entanglement compare per la prima volta nel famoso paradosso EPR che prende il nome dalle iniziali di Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen, che lo formularono nel 1935. Dopo esserti documentato in Internet, cercando di capire in che cosa consista questo paradosso, realizza un fumetto che lo racconti. Puoi sbizzarrirti a inventare un modo originale per disegnare i fotoni entangled! Sottolinea bene il fatto che gli esperimenti hanno mostrato che quello EPR non è un paradosso, ma l'effettiva descrizione di quanto succede nell'entanglement.

SCIENZA E SOCIETÀ

Gli anelli borromei, tre anelli intrecciati tra loro, sono il simbolo della famiglia Borromeo, delle isole Borromee nel Lago Maggiore. Il fisico P.K. Aravind ha scoperto interessanti connessioni tra alcuni stati entangled e altrettanti tipi di nodi in topologia, tra i quali proprio gli anelli borromei. Questi tre anelli sono legati fra loro, ma non lo sono a coppie, cioè se si toglie un anello dal nodo, anche gli altri due si sciolgono. Fai una ricerca sugli anelli borromei che ne tratti sia gli aspetti storici, sociali e simbolici (il motto del blasone nobiliare era "Uniti resistiamo, divisi cadiamo"), sia quelli matematici e fisici. Ricorda a questo proposito che anche il fisico William Thomson, cioè Lord Kelvin, si occupò di nodi, per rappresentare gli atomi nella sua teoria degli *atomi vortice*.

SCRIVERE DI SCIENZA

Nel 2011 ricorrono i cinquant'anni dalla morte di Erwin Schrödinger, scienziato e filosofo, premio Nobel per la fisica nel 1933 e uomo di profonda cultura umanistica oltre che scientifica. Scrivi un breve articolo su di lui, che ne esponga la biografia e gli importanti contributi scientifici.

IL CERVELLO **COLORATO**

Tante promesse e speranze sono riposte nel *brain imaging*, insieme di tecniche per lo studio dell'attività cerebrale (sana e patologica). Non mancano, però, anche dubbi e perplessità.

DONATO RAMANI

È come se, all'improvviso, il nostro cervello avesse cominciato a colorarsi. Di blu, di rosso, di giallo, di arancio, in una mescolanza che sembra trasformare quella massa dall'aspetto gelatinoso, meravigliosa nelle sue funzioni ma visivamente poco accattivante, in un simpatico arlecchino. Basta sfogliare una rivista, un quotidiano, fare una ricerca sul Web ed eccolo là, acceso di mille tinte, posto accanto a notizie anch'esse assai eterogenee. Che parlano di studi medico-scientifici sulle malattie del sistema nervoso con titoli come *Un passo in avanti nella diagnosi precoce del morbo di Alzheimer* o *Ecco come funzionano i farmaci contro il Parkinson*. Ma anche - e sempre più spesso - di ricerche di tutt'altro sapore, presentate da annunci come *Dove nasce la fede*, *Scoperta l'area che svela le azioni del nostro futuro* o, ancora, *Ecco l'area del cervello che tiene a bada gli istinti*. E pensare che una volta lo si chiamava "materia grigia".

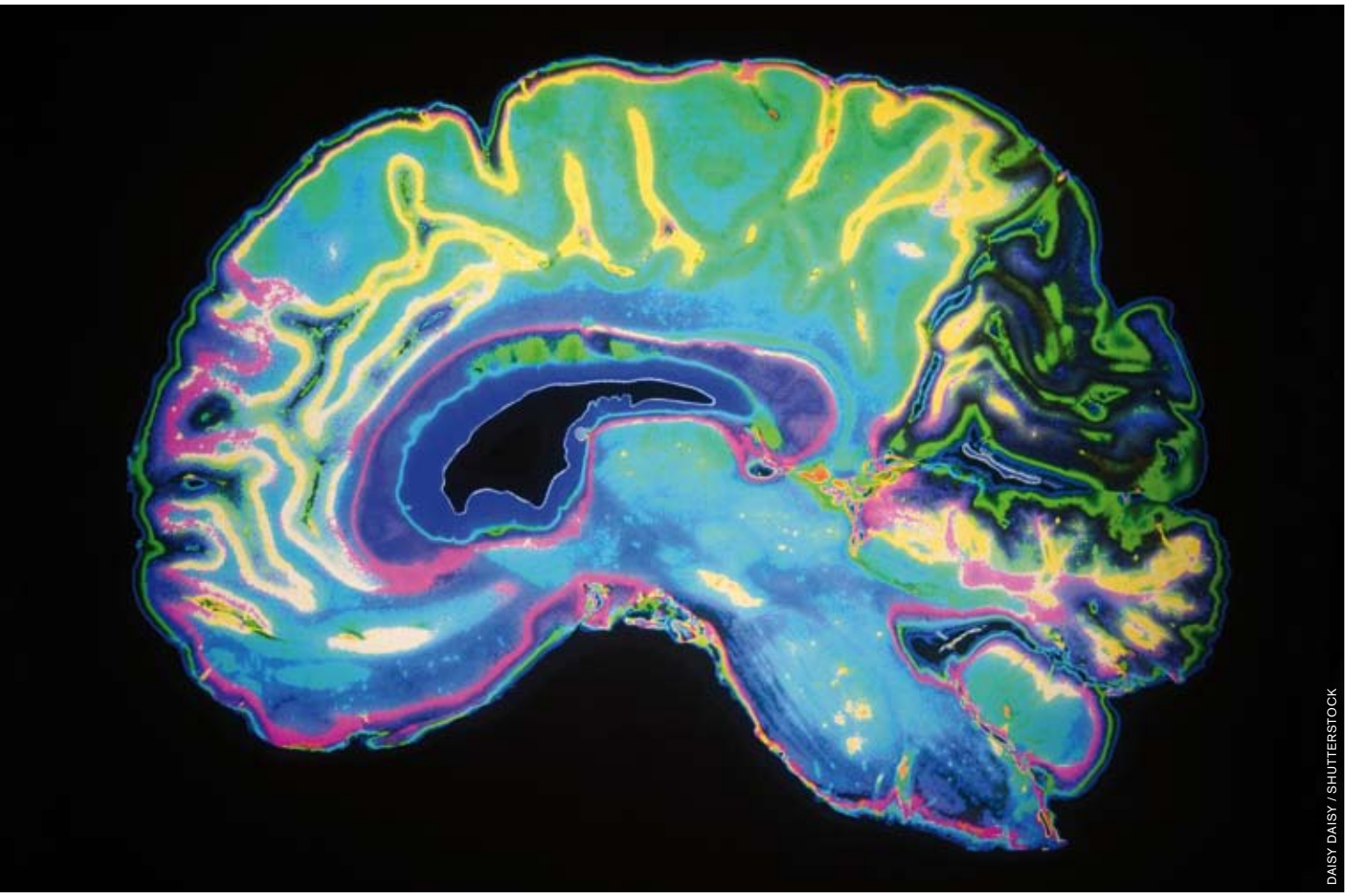
Osservare i neuroni in attività

Benvenuti nel mondo del *brain imaging*, un insieme di tecniche di visualizzazione nate e sviluppate per studiare la struttura e la funzione delle aree cerebrali. Strumentazioni con nomi oscuri, riassunti in più agevoli acronimi: si chiamino PET (Positron Emission Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), SPECT (Single-Photon Emission Computed Tomography), TAC (in inglese CAT: Computer assial tomography) o fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging), sono utilizzate per capire quali sono le relazioni tra una specifica area del cervello e una relativa funzione, per localizzare danni neurologici, per diagnosticare tumori o malattie del sistema nervoso centrale, per indagare il meccanismo d'azione dei farmaci che quelle malattie tentano di prevenire e curare. Non vorremmo esagerare con i dettagli, ma forse qualcuno può essere utile. Prendiamo l'fMRI, per esempio. Con una buona dose di semplificazione, possiamo dire che si tratta di una tecnica che misura il livello di ossigenazione del sangue all'interno delle diverse aree del cervello: quando una specifica zona dell'encefalo è attiva, aumenta il fabbisogno di ossigeno da parte dei neuroni, uno dei tipi cellulari che lo compongono. L'fMRI è in grado di rilevare il cambiamento del contenuto di ossigeno del sangue in corrispondenza delle aree attive. Queste, dopo opportune elaborazioni al computer, appariranno ai nostri occhi come una macchia di colore ben distinta, in genere, per convenzione, rossa. La PET si basa su un meccanismo diverso. Una particolare sostanza utile al metabolismo dei neuroni (per esempio il glucosio), dopo essere stata marcata con una molecola radioattiva, è introdotta con un'iniezione nel soggetto da analizzare. L'area in cui questa sostanza si concentrerà sarà quella in cui i neuroni sono più attivi e, grazie alla radioattività, la strumentazione sarà in grado di rilevarla, evidenziandola rispetto alle altre.

Rivoluzione nella lotta all'Alzheimer?

Su queste indagini la medicina ripone oggi molte speranze. Come esempio possiamo prendere una recentissima notizia già citata all'inizio di questo articolo. Riguarda il morbo di Alzheimer, grave forma di demenza che colpisce in particolare gli anziani, purtroppo ancora senza cura e la cui diagnosi rappresenta un grave ostacolo da superare. La certezza della diagnosi, infatti, può arrivare soltanto dopo la morte del paziente, attraverso l'autopsia, grazie all'osservazione delle cosiddette placche amiloidi, grandi accumuli di proteine nel cervello e segno distintivo di questa patologia. Finora le placche amiloidi sono state praticamente impossibili da vedere in vita: una difficoltà che causa spesso errori di valutazione, purtroppo inevitabili, da parte di medici che scambiano le prime avvisaglie dell'Alzheimer per sintomi di altre malattie. Ebbene: lo scorso gennaio, negli Stati Uniti, un comitato di consulenti nominati della Food and Drug Administration (Fda), ente del governo americano che si occupa di regolamentare, tra le altre cose, l'utilizzo di nuovi farmaci e nuove apparecchiature mediche, si è espresso molto favorevolmente sul primo test per la diagnosi dell'Alzheimer su pazienti in vita. È il primo importante passo di un iter che potrebbe portare all'introduzione di questo esame sul mercato americano. Il test in oggetto utilizza uno specifico colorante che si lega alle placche amiloidi eventualmente presenti nel paziente le quali, così evidenziate, possono essere rilevate con la PET. I risultati ottenuti nelle sperimentazioni cliniche già effettuate sono stati così interessanti, e l'opinione del gruppo di esperti così entusiasta, da rendere molto fiduciosa la Avid Radiopharmaceuticals, società che ha messo a punto la procedura, riguardo all'approvazione finale da parte della Fda. Questo risultato segnerebbe un passo di

Elaborazione grafica in falsi colori di un'immagine ottenuta con MRI.



DAISY DAISY / SHUTTERSTOCK

fondamentale importanza nella lotta a questa malattia, anche perché con la stessa metodica si potrebbe verificare l'efficacia dei farmaci la cui azione è diretta alla distruzione delle stesse placche.

Non solo medicina

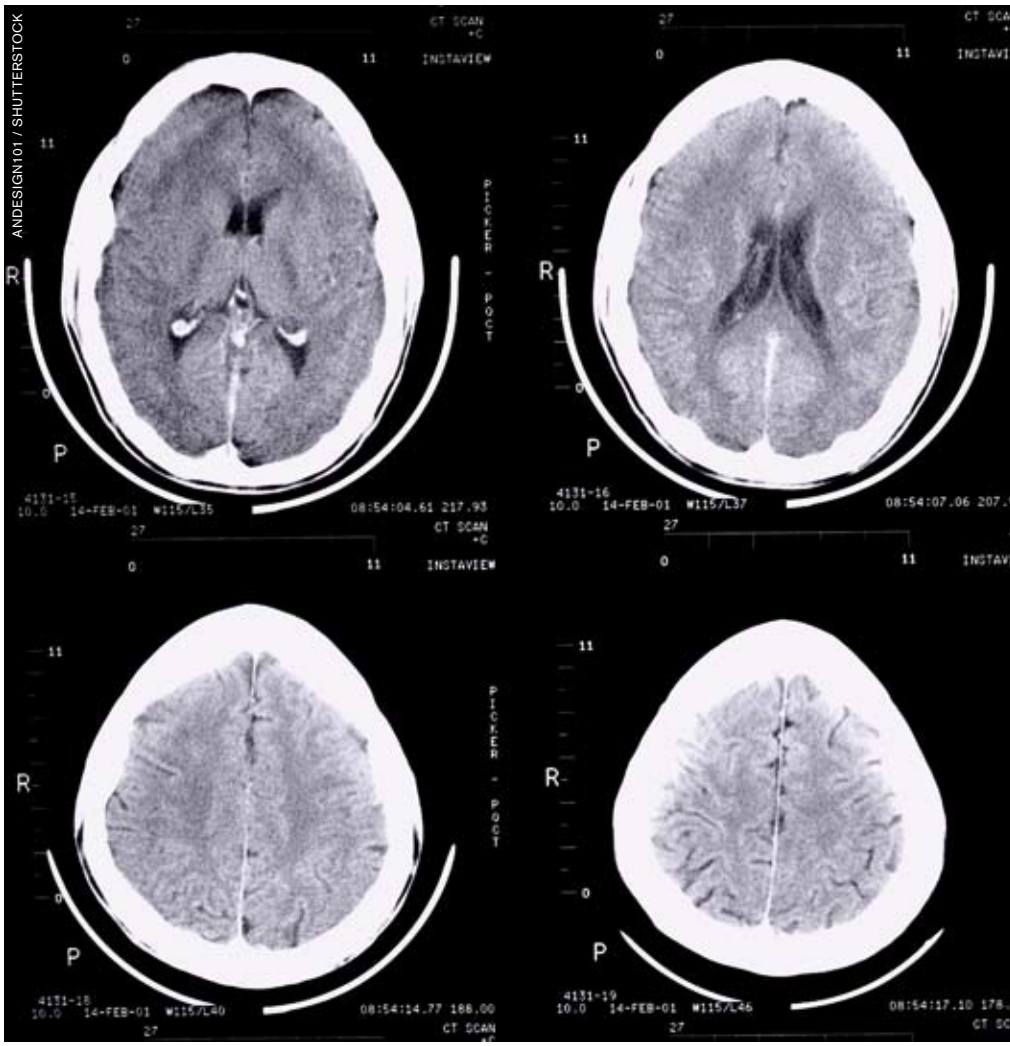
Molto ci sarebbe da scrivere sull'utilizzo del brain imaging per lo studio di una vasta serie di disturbi e patologie di diversa gravità. Dall'autismo alla dislessia, dalla depressione all'emicrania, dai traumi neurologici ai tumori cerebrali alla schizofrenia, i contributi offerti da queste tecnologie nella comprensione, diagnosi e terapia di molte malattie sono sempre maggiori. Ma non c'è solo questo. Anzi, a ben guardare, il motivo per cui l'utilizzo del brain imaging - e quel cervello con look colorato - sono diventati così popolari ha addirittura poco o nulla a che fare con la medicina. Sempre più studi sembrano aprire per la prima volta lo scrigno dei nostri pensieri e, in qualche modo, della nostra stessa natura. Lo shopping sfrenato non è nelle vostre corde? Sui giornali si legge che alcuni ricercatori avrebbero individuato la parte del cervello che ci tiene lontani dalle spese pazze. Tendete a perdere le staffe? Ecco un altro titolo a effetto: *Scoperta l'area dell'autocontrollo*. E come "prova" visibile di queste affermazioni, compaiono sempre quelle macchie colorate che abbiamo cominciato a conoscere, pronte a dirci che è proprio in quel punto preciso del cervello che tutto accade. E che la complessità di quella raffinatissima "macchina dei pensieri" che è il nostro cervello può essere finalmente mappata, assieme alle nostre inclinazioni e le nostre intenzioni, le emozioni e le sensazioni, la menzogna e la verità, la salute e la malattia.

Tra scienza e media

Le ricerche condotte in questi settori brillano spesso per fantasia. Per studiare i meccanismi della paura, per esempio, alcuni studiosi della Cognition and Brain Science Unit di Cambridge, hanno chiesto a 20 volontari la cui attività cerebrale era monitorata con l'fMRI di infilare un piede

DONATO RAMANI
è assegnista di ricerca per il progetto *Bid-brains in dialogue* presso la Sissa di Trieste, dove insegna comunicazione della biologia al Master in comunicazione della scienza. Come freelance scrive per diversi periodici nazionali.

Visualizzazione di un cervello con TAC.



nudo in una scatola collegata ad altri cinque compartimenti dalle pareti rimovibili. Subito dopo è stato mostrato loro un video in cui un enorme ragno peloso dall'aspetto veramente inquietante, la salmon pink tarantula brasiliana, veniva chiuso in uno dei compartimenti. A seconda di quanto fosse lontana la sezione con il ragno rispetto al suo piede, nella testa del povero volontario si scatenavano sensazioni diverse, immediatamente rilevate dall'fMRI. Lo strumento rilevava prima una maggiore attività nella corteccia prefrontale, regione associata all'ansia. Poi, via via che la tarantola si avvicinava, si attivava un'altra regione del cervello associata alla paura intensa e al panico. Quando il ragno arretrava, invece, questa zona risultava meno attiva. Nell'insieme, i dati raccolti rappresentano un'interessante prova di come la risposta al pericolo, nel nostro cervello, coinvolga aree diverse unite in un network che si attiva a seconda della prossimità del rischio.
Una precisazione è d'obbligo. Al di là dell'originalità del caso specifico e di qualche inevitabile eccezione, questi esperimenti non sono passatempi per scienziati stravaganti. Al contrario, spesso sono studi portati avanti da grandi università, pubblicati su serissime riviste scientifiche, importanti ai fini della ricerca. Va da sé, però, che sono anche molto accattivanti dal punto di vista mediatico.

Come non restare completamente affascinati da una macchina che ci potrebbe chiarire come stanno davvero le cose dentro la nostra e l'altrui testa? La curiosità è forte e i media sono pronti a stuzzicarla non appena un nuovo studio si fa avanti.

Brain imaging in tribunale

Il gioco, però, può anche diventare rischioso perché, fuori dai laboratori, le possibili ripercussioni di queste applicazioni sono tante, in qualche modo inaspettate e non sempre sicure. Un caso su tutti è il possibile utilizzo del brain imaging come nuova macchina della verità. L'idea è semplice: leggendo le reazioni del cervello a una domanda, si potrebbe capire se una persona risponde o meno con una bugia. Le prime applicazioni sono dietro l'angolo. Anzi, in qualche caso, l'hanno già superato. Basti dire che alcune aziende hanno messo in commercio *lie detector* (letteralmente "rilevatori di menzogna") basati sul brain imaging. L'americana No lie MRI è una di queste. Sul sito della company (**http://noliemri.com**) si legge che la tecnologia impiegata «rappresenta la prima e la sola misura diretta di accertamento della verità e il rilevamento della menzogna della storia umana!». Mica male, vien da dire. Solo che la comunità scientifica, a proposito della effettiva affidabilità di queste tecniche, invita caldamente alla prudenza. Geraint Rees, professore di neurologia all'University College di Londra a autore di un report intitolato

Contemporary neuroscience and technology, a proposito delle nuove macchine della verità ha dichiarato: «Non possiamo dire se queste tecnologie riusciranno a essere sufficientemente affidabili da poter essere usate nella realtà, in contesti come questo». Come dire: una cosa è la ricerca scientifica, i cui fallimenti si esauriscono tra le mura del laboratorio. Un'altra cosa è la vita vera. Utilizzare queste strumentazioni per esempio nel corso di un processo, per stabilire se un accusato mente o dice la verità, richiede un'affidabilità che al momento non c'è. E forse non ci sarà mai. Anche se la cronaca racconta che le tecniche di brain imaging trovano già applicazione nelle aule dei tribunali negli Stati Uniti e in India.

Il laboratorio è un conto, la realtà un altro

La realtà è che nella maggior parte degli utilizzi delle tecniche di brain imaging molto deve ancora essere compreso e perfezionato. Già nello studio e nella diagnosi delle malattie psichiatriche la comunità scientifica avanza alcune perplessità e nelle applicazioni non mediche i dubbi sono ancora più grandi. Il problema? Sta proprio nelle macchie colorate. Affascinanti, di immediata comprensione anche a uno sguardo profano, di sicuro di grande valore scientifico. Ma che non significano esattamente ciò che con qualche forzatura i media ci trasmettono. «Le macchie di colore nascono dal confronto tra la situazione sperimentale e quella di controllo. Attraverso la scala di colori si identificano le aree in cui si è osservata una differenza di attivazione statisticamente significativa tra le due situazioni. Bisogna però ricordare che gli esperimenti avvengono in condizioni sperimentali e controllate» spiega Jonathan Roiser, ricercatore all'University College di Londra. «Per di più i metodi di analisi variano molto da un laboratorio all'altro e differenti software [necessari all'elaborazione statistica dei dati e alla formazione delle immagini, NdR] possono portare a risultati anche molto diversi».

Dubbi e preoccupazioni

Che l'argomento sia scottante è un dato di fatto. A questo proposito vale la pena fare cenno a una polemica che qualche tempo fa infuocò gli animi dei ricercatori. Nel 2007, in piena campagna elettorale per l'elezione del nuovo presidente degli Stati Uniti (la corsa era tra John McCain e Barack Obama, che poi vinse), un articolo del "New York Times" riportò uno studio fatto su 20 elettori indecisi, la cui attività cerebrale era stata monitorata con l'fMRI mentre venivano mostrati loro video e foto dei candidati. Il tentativo era capire quali reazioni essi suscitavano e, in qualche modo, comprendere dove sarebbe andato il voto degli elettori. Apriti cielo. La reazione della comunità scientifica non si fece attendere: «Tutto questo è molto più vicino all'astrologia che alla vera scienza» fu il commento di Russell Poldrack, scienziato allora in forze all'Università della California a Los Angeles, che inviò una lettera di protesta al giornale con le firme di 16 colleghi. E un articolo dal titolo assai esplicativo, *Growing pains for fMRI*, apparve l'anno seguente sulle pagine della rivista "Science" per fare chiarezza su potenzialità e limiti del brain imaging, sottolineando il pericolo di approcci troppo semplicistici riguardo a un organo le cui funzioni brillano proprio per complessità. L'associazione diretta tra una sensazione o un comportamento e un'area del cervello evidenziata con il brain imaging, continuano a ripetere molti scienziati, nasconde molti possibili tranelli. Una stessa zona può attivarsi per più di una sensazione, per esempio: come associarla per forza a una soltanto? Inoltre, benché molto raffinati gli strumenti permettono di visualizzare l'attività cerebrale solo su larga scala: anche con la massima risoluzione si riescono a evidenziare aree che al loro interno contengono milioni di neuroni che però potrebbero non funzionare tutti allo stesso modo. O, ancora, lo stesso esame che costringe le persone a infilare per parecchio tempo la testa in uno strumento potrebbe portare a risultati falsati. Insomma, chi vede il brain imaging come la versione tecnologica della sfera di cristallo per il momento dove rassegnarsi. Nonostante le tecnologie si stiano continuamente perfezionando, la chiave perfetta per aprire il lucchetto della nostra mente non è stata ancora trovata. Ma forse è solo una questione di tempo.

PER APPROFONDIRE

— P. Legrenzi, C. Umiltà, *Neuromania. Il cervello non spiega chi siamo*, Il Mulino, Bologna 2009.

IN RETE!

Cervelli in dialogo Sito del progetto europeo Bid (Brains in dialogue), dedicato alla discussione degli sviluppi delle neuroscienze. Una pagina è dedicata proprio al brain imaging.
www.neuromedia.eu

Un passo in avanti

NEUROSCIENZE IN TRIBUNALE

Imputato pienamente consapevole e quindi, se ritenuto colpevole, da condannare. Oppure incapace di intendere e di volere. E pertanto, in qualche misura, non responsabile degli atti che ha commesso. È questo il nodo su cui spesso, nelle aule dei tribunali, si gioca la partita tra accusa e difesa. In questa partita, forse tra non molto, anche le tecnologie del *brain imaging* potrebbero svolgere un ruolo importante. Del resto, negli Stati Uniti accade già, e non da oggi.

Cervelli "anomali"

Nel processo contro John Hinckley Jr, l'uomo che tentò di assassinare il presidente Ronald Reagan nel 1981, i difensori portarono in aula il referto di una Tac eseguita al suo cervello, sostenendo che alcune anomalie da loro evidenziate avallassero la tesi dell'infermità mentale. Analogamente nel 2009, nel processo contro l'omicida seriale Brian Dugan, su richiesta della difesa fu presentato l'esame del cervello dell'imputato fatto con l'fMRI, con l'obiettivo di dimostrare la presenza di una psicopatia. Secondo Kent Kiehl, lo scienziato dell'Università del New Mexico che eseguì il test e che nella sua carriera ha sottoposto allo stesso esame più di 1000 carcerati, il cervello di individui psicopatici che uccidono a sangue freddo tende a presentare un difetto nel sistema paralimbico, un network cerebrale importante per la memoria e la regolazione delle emozioni. La stessa anomalia da lui riscontrata in Dugan.

Diagnosi quanto affidabili?

I punti critici sull'utilizzo nei tribunali di queste tecniche, però, sono molti, a partire dalla discussione sulla loro affidabilità nella diagnosi di malattie psichiatriche e disturbi mentali. Thomas Insel, direttore dello statunitense National Institute of Mental Health, qualche mese fa ha scritto: «Siamo tutti d'accordo che il brain imaging in *futuro* [in corsivo nel testo NdR] probabilmente giocherà un ruolo importante nella pratica clinica delle malattie mentali. Però non possiamo affrettare i tempi». Studi sempre più approfonditi forniscono contributi significativi per la comprensione di queste malattie. Eppure, nelle parole di Insel, «le tecniche del brain imaging nel campo dei disturbi mentali sono ancora e prima di tutto uno strumento di ricerca. [...] Le differenze nella struttura del cervello o nella sua attività osservata in malattie come la schizofrenia o l'ADHD, il disturbo da deficit di attenzione, sono significative solo se comparate tra gruppi statistici. Ci sono troppe varianti individuali nella struttura e nella funzione del cervello perché, allo stato corrente delle conoscenze scientifiche, questo tipo di esame possa essere considerato diagnostico o predittivo per singoli individui».

Scienziati in contrasto

Che questa posizione, largamente condivisa dalla comunità scientifica, cozzi con l'approccio di studiosi come Kent Kiehl pare evidente. Ma, nonostante gli inviti alla prudenza da parte di molti medici e ricercatori, la società sembra andare molto, forse troppo, veloce. Non che gli scienziati stiano a guardare. In un articolo apparso su "Nature" lo scorso anno a proposito del caso Dugan, Helen Mayberg, neurologa presso l'Emory University di Atlanta, ha dichiarato: «È una pericolosa distorsione della scienza che stabilisce un rischioso precedente». La Mayberg è una fiera avversaria di questo tipo di impieghi, essendosi pronunciata contro l'uso del brain imaging in dozzine di casi, sin dal 1992. Eppure c'è chi sostiene che il cervello non menta, e che se un'anomalia cerebrale è riscontrata, non c'è modo di barare: non si può certo averla prodotta apposta. Insomma, il dibattito è quanto mai aperto e la divisione tra esperti piuttosto netta.

La forza delle immagini

E tra scienza e giurisprudenza, a confondere ulteriormente le acque c'è un altro elemento: la grande forza convincente del brain imaging. Dicono le ricerche che se per avvalorare una certa tesi - nello specifico, che un individuo sia affetto da una particolare malattia mentale - ci viene sottoposta come prova un'immagine di un cervello colorato, siamo naturalmente portati a considerarla credibile. Proprio per questo motivo, nel processo a Dugan non furono ammesse in aula le scansioni del suo cervello, con l'evidenza delle aree colorate, ma fu consentito che Kent Kiehl descrivesse i suoi risultati solo con l'aiuto di grafici e modellini. Che, va detto, non convinsero la giuria: il processo si è concluso con la condanna dell'imputato alla massima pena. *D.R.*

Ora tocca a te

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Un momento di ripasso sul sistema nervoso umano: quali sono le strutture che lo compongono? Quali strutture compongono l'encefalo? Che cos'è la corteccia cerebrale? Quali sono le sue funzioni principali?

2. Scegli una delle tecniche di brain imaging menzionata nell'articolo (TAC, MRI, fMRI, PET, SPECT) e, con l'aiuto dell'insegnante di fisica, cerca di capire come funziona. Prepara una breve presentazione per spiegarlo anche ai tuoi compagni. Lo stesso lavoro può essere svolto in gruppo.

3. Avevi mai sentito parlare di brain imaging prima della lettura di questo articolo? Se sì, in quali occasioni (in famiglia, sui mezzi di comunicazione ecc.) e relativamente a quali aspetti (medici o altro)? Confronta le tue risposte a queste domande con quelle dei compagni.

4. Per quali motivi molti scienziati sono dubbiosi circa l'applicazione di tecniche di neurovisualizzazione al di fuori della ricerca scientifica e di alcune specifiche applicazioni mediche?

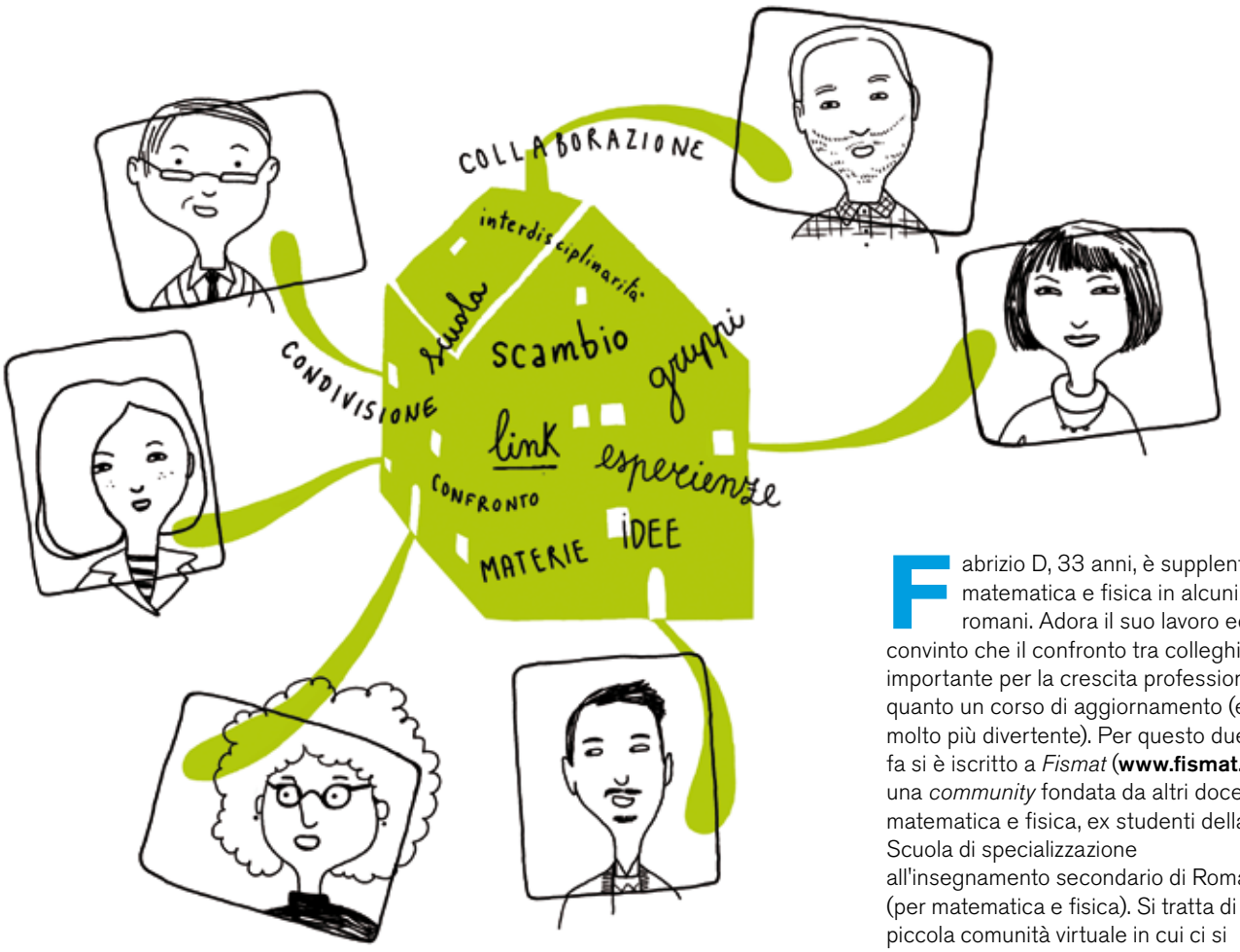
SCIENZA E SOCIETÀ

Se nella città in cui si trova la tua scuola è presente un ospedale cerca di organizzare, insieme alla tua classe e con la collaborazione dell'insegnante di scienze, un incontro con un medico radiologo che si occupi di neurovisualizzazione. Chiedetegli di portare all'incontro immagini del cervello ottenute con varie tecniche e di spiegarvi che cosa mostrano esattamente e come vengono diagnosticate condizioni di malattia.

SCRIVERE DI SCIENZA

Dopo aver effettuato una ricerca in biblioteca o su Internet, scrivi un breve saggio sulla malattia di Alzheimer, cercando di toccare i seguenti aspetti: le manifestazioni della malattia e le sue cause biologiche, i limiti diagnostici (a proposito: per quale motivo sarebbe importante diagnosticare in modo tempestivo la malattia?), le principali strategie terapeutiche, le difficoltà di gestione delle persone malate, anche da parte dei familiari. Puoi lavorare anche in gruppo con alcuni compagni, prevedendo una fase di "assemblaggio" dei materiali prodotti singolarmente.

LIGHTSPRING / SHUTTERSTOCK



PROF COMMUNITY

Scambiarsi materiali didattici, raccontare esperienze, trovare colleghi per progetti collaborativi. Tutto questo è possibile con le comunità virtuali di docenti: uno strumento che sta cominciando a diffondersi, non senza difficoltà.

TIZIANA MORICONI

Fabrizio D, 33 anni, è supplente di matematica e fisica in alcuni licei romani. Adora il suo lavoro ed è convinto che il confronto tra colleghi sia importante per la crescita professionale quanto un corso di aggiornamento (e molto più divertente). Per questo due anni fa si è iscritto a *Fismat* (**www.fismat.it**), una *community* fondata da altri docenti di matematica e fisica, ex studenti della Scuola di specializzazione all'insegnamento secondario di Roma Tre (per matematica e fisica). Si tratta di una piccola comunità virtuale in cui ci si scambiano materiali per la didattica (lezioni già preparate, consigli o informazioni sulle risorse in Internet, esercitazioni online per la classe) e in cui si possono raccontare le proprie esperienze. All'inizio i partecipanti si conoscevano tutti e una volta al mese si incontravano nel mondo reale; poi, come spesso accade, il *cyber spazio* si è popolato di amici degli amici e oggi molte relazioni sono solo virtuali.
Il fenomeno delle *virtual community* per docenti è ancora nella sua prima infanzia ed è difficile dire se prenderà piede o meno, ma il numero di siti dedicati cresce ovunque, Italia compresa. Che anche il corpo docenti stia subendo il fascino dei *social media*?

Di community e altri "animali" virtuali

Prima di rispondere a questa domanda bisogna porsene altre. Per esempio: che cosa significa essere membri di una community? E che differenza c'è tra una comunità virtuale e un *social network* come Facebook? Cominciamo con le definizioni. Per cyber spazio (termine coniato dallo scrittore di fantascienza

William Gibson in *Neuromante*) si intende un luogo virtuale in cui le relazioni umane dipendono dall'uso di tecnologie CMC (Computer-Mediated Communication). Se tutte le "stanze" di questo spazio sono ugualmente accessibili da ciascun utente e tutti interagiscono con tutti nello stesso modo, siamo in una community (si può immaginare come un cerchio di persone). Altre volte, queste relazioni definiscono una struttura a rete (*net*) in cui i singoli individui sono *nodi* connessi selettivamente ad altri nodi (i rapporti possono essere di varia natura contemporaneamente, per esempio amicizie, rapporti di lavoro, interessi comuni): questa conformazione prende il nome di social network.

Spazi sovrapponibili

Un social network, in realtà, può contenere o essere anche una community, e viceversa. I due concetti sono in parte sovrapponibili: quanto, dipende dalla scuola di pensiero seguita. Per Howard Rheingold (**www.rheingold.com**), il sociologo che più di ogni altro ha reso popolare il termine virtual community, con questa espressione si intende un insieme di persone che portano avanti, pubblicamente, una discussione, "abbastanza" a lungo e con "abbastanza" trasporto da far nascere da questa una ragnatela di relazioni interpersonali. Altri, invece, usano il termine in senso lato, per indicare un qualsiasi insieme di persone che interagiscono online o che condividono uno stesso cyber spazio, pur rimanendo estranee le une alle altre. In questa accezione, Flickr (**www.flickr.com**), per esempio, rappresenterebbe una community di appassionati di fotografia che ha le caratteristiche di un social network. Se teniamo per buona la definizione di Rheingold non dobbiamo commettere l'errore di pensare che il solo scrivere su un sito (o pubblicarvi foto) ci renda membri di una comunità, né dobbiamo confondere gli strumenti delle interazioni – forum, blog, chat, bacheche – con le community stesse.

Benvenuto su Profbook

Vediamo allora che cosa offre la rete ai docenti con spirito *social*. In piedi da settembre 2009 e con quasi 1600 iscritti, una delle community (ma anche social network) più attive è *La scuola che funziona* (**www.lascuolachefunziona.it**). Il sito offre diversi strumenti: ciascun utente ha una pagina personale, con tanto di stringa per il «Cosa stai pensando?». Si possono creare gruppi, avviare discussioni, promuovere eventi, caricare video, in modo completamente spontaneo. In più c'è un'aula virtuale per videoconferenze *live*. Tutte le funzioni basilari di Facebook si trovano anche qui, ma è solo l'inizio. Come dicono titolo e sottotitolo del sito (*Pratiche di insegnanti che fanno funzionare la scuola*), l'idea non è quella di dar vita a una copia di Fb, ma di attivare, sostenere e valorizzare le buone pratiche di didattica attraverso una collaborazione tra pari. Ecco allora che la cosa si fa più complessa e strutturata nello spazio *wiki* e nella sezione dei progetti. Un esempio è il progetto *Ambienti@moci* (**www.slideshare.net/CristinaGalizia/progetto-ambientimoci-5924480**), pensato per far interagire classi di ogni ordine e grado. Per celebrare l'Anno della biodiversità (2010), nella prima metà dell'anno scolastico i docenti sono stati invitati a mettere a punto, singolarmente o collettivamente, microprogetti centrati sul territorio da portare avanti con le classi, e a creare "diari di bordo", annotando metodologie e risultati. Nella seconda parte dell'anno questi dovevano essere presentati sul sito e discussi nel forum. Tra i microprogetti ricordiamo *Il buono, il brutto e il cattivo*, uno studio sull'ambiente del Monte Amiata e del fiume Savio, condotto da un istituto professionale e da due scuole primarie. Il piano di lavoro prevedeva visite guidate, interviste e relazioni con gli Enti locali e l'analisi del territorio; il tutto corredato da interviste ai "nonni", come testimonianza diretta del cambiamento ambientale.

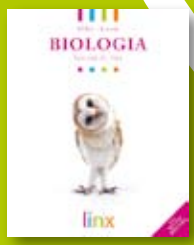
Tutti insieme, virtualmente

Il buono, il brutto e il cattivo è un esempio concreto di come non solo scuole lontane, ma anche classi differenti per ordine e grado possano facilmente collaborare per uno stesso obiettivo. Se c'è un vantaggio dell'essere in Rete, infatti, è che si semplificano i rapporti. Un altro caso di successo di collaborazione a distanza è il progetto *Pinocchio nella Rete* (**https://sites.google.com/site/pinocchionellarete/home**), ideato da Riccardo Rivarola (docente di informatica dell'istituto comprensivo Collesalvetti di Guastocce), che mira a diffondere gli strumenti del Web 2.0, i software di libero utilizzo e i servizi online gratuiti. Nella pratica, si creano e si raccolgono tutorial,

Catalogo 2011

biologia

Anelli, Gatti
Il nuovo Albatros
Lezioni e immagini di Biologia

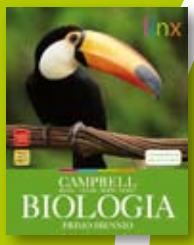


Miller, Levine
Biologia
Lezioni di vita

Anelli, Gatti
Vita
Lezioni di Biologia

Campbell, Reece, Taylor, Simon, Dickey
Il nuovo Immagini della biologia

Miller, Levine
Elementi di biologia



Campbell, Reece, Taylor, Simon, Dickey
Biologia
Primo biennio

Krogh
Il racconto della vita
Biologia
Primo biennio

scienze della Terra

Masini
Ambiente Terra
Primo biennio

Tarbuck, Lutgens
Corso di scienze della Terra
Primo biennio

Calvino
Terra
Lezioni di Scienze della Terra

Tarbuck, Lutgens
Scienze della Terra
Voi siete qui

Tarbuck, Lutgens
Corso di geografia generale

Calvino
Il nuovo Explorer
Lezioni e immagini di Scienze della Terra

scienze naturali

Frank, Wysession, Yancopoulos, Calvino, Anelli, Gatti
Biosfera
Chimica, scienze della Terra, biologia
Primo biennio

informatica

Barbero, Vaschetto
Dal bit al web

chimica e fisica

Palladino Bosia
Corso integrato di Chimica e Fisica
La materia e le sue proprietà

Frank, Wysession, Yancopoulos
Chimica e Fisica
Concetti in azione

linx

chimica

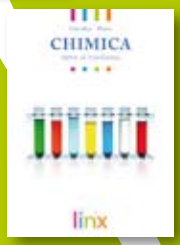
Timberlake, Timberlake
Chimica
Primo biennio

Palladino Bosia
Elementi di chimica
Primo biennio

Celestino
Le soluzioni della chimica
Primo biennio

Timberlake, Timberlake
Corso di chimica

Timberlake, Timberlake
Corso di chimica
Edizione modulare



Cracolice, Peters
Chimica
Tutto si trasforma

Cracolice, Peters
Chimica essenziale per le Scienze Naturali

Cracolice, Peters
Chimica
Tutto si trasforma
Primo biennio

Palladino Bosia
Lezioni di chimica

Frank, Wysession, Yancopoulos
Chimica
Concetti in azione

biologia e scienze della Terra

Anelli, Calvino, Gatti
Terra e vita
Lezioni di Biologia e Scienze della Terra

Miller, Levine
Scienze integrate
Biologia

Tarbuck, Lutgens
Scienze integrate
Scienze della Terra

fisica

Parodi, Ostili
Fisica
Una scienza modello

Parodi, Ostili
Fisica
Una scienza modello
Edizione verde

Parodi, Ostili
Fisica
Una scienza modello
Edizione modulare

Parodi, Ostili
Fisica
Una scienza modello
Primo biennio

Frank, Wysession, Yancopoulos
Fisica
Concetti in azione

Walker
Corso di fisica

Palladino Bosia
Lezioni di fisica

Walker
Corso di fisica
Primo biennio

dalle lezioni di informatica di base (**http://blog.edidablog.it/blogs//index.php?blog=46**) alle esperienze in mondi virtuali 3D (**http://progettokublai.ning.com/group/scuolaprimariain3d**). Un esempio? Tramite i loro avatar, Riccardo Rivarola e altri docenti partecipano a eventi tematici nel mondo virtuale di *Second Life*. Qui è possibile registrare video che possono essere proposti in classe e condivisi con altri docenti postandoli sul sito, su YouTube o Vimeo.

Trasmissione culturale verticale

Quello delle nuove tecnologie informatiche è uno dei temi attorno a cui si sviluppano più spesso le community. Ne è un esempio *Vocescuola* (**www.vocescuola.it**), che ha già 4 anni ed è gestito da due insegnanti e un preside, Michele Maffucci, Maurizio Scebba e Reginaldo Palermo, che sono tra i massimi esperti di Ict (Information and Communication Technologies) in Italia. Qui non esiste ancora una vera e propria community aperta: i docenti chiedono informazioni e i tre esperti rispondono. Gli interventi esterni sono benvenuti, ma non possono essere postati direttamente dagli utenti. Per ora è possibile soltanto lasciare commenti alle informazioni e alle pillole di saggezza tecnologica caricate. Fin dall'inizio, però, la creazione di una comunità è stata uno degli scopi del sito: «Il portale è frequentato da centinaia di persone attive e interessate, ma abbiamo constatato che una reale discussione sull'uso delle tecnologie non si instaura spontaneamente», spiega Maffucci. «Per questo il passaggio di conoscenza è stato finora verticale, quasi mai orizzontale. Da parte nostra, ci sarebbe bisogno di un impegno ancora maggiore, perché una community, anche se spontanea, deve essere gestita se si vuole che porti da qualche parte». Maffucci, in realtà, un'idea ce l'ha: far partecipare attivamente gli studenti degli ultimi anni delle superiori, in modo che possano sviluppare servizi e applicativi per la scuola e l'apprendimento, magari integrandoli in progetti per la maturità. Avverrebbe così un altro tipo di scambio verticale, da alunni a insegnanti, mentre allo staff resterebbe più tempo per gestire la community e i forum.

Social piace, ma non sempre funziona

Insomma, quello che gli insegnanti sembrano volere da una community è la capacità di creare nuovo sapere, organizzarlo e condividerlo. Il punto è che non sempre da soli ci riescono. Lo dimostra l'esperienza di *Scuolab* (**www.scuolab.it**), un progetto del Politecnico di Milano nato da una parte per assistere i docenti nell'uso delle tecnologie, dall'altra per creare una community per la condivisione di buone pratiche. La community è aperta a tutti e ospita oltre 900 progetti che utilizzano le tecnologie, descritti in dettaglio; sono in pochi, però, a prenderne spunto. Un esempio di progetto è *La visione del cosmo dall'origine ai giorni nostri* di Marina Canali (docente al liceo scientifico Vittorio Bachelet di Oggiono): la classe è stata divisa in gruppi che inizialmente hanno prodotto una relazione scritta sul tema assegnato; è seguita una fase di presentazione con Powerpoint e una terza parte che ha visto la preparazione di file audio tramite Audacity, un software gratuito; l'ultimo passaggio prevedeva la realizzazione di un ipertesto integrato a cui hanno collaborato tutti. Il progetto ha ricevuto da altri insegnanti 12 voti positivi ed è classificato 'tre stelline su cinque', ma non vi è alcun commento. Di solito, comunque, i commenti sono del tipo: "bello", "interessante", e così via. «Prendere ispirazione dalle esperienze altrui non è facile, anche perché gli insegnanti non sempre riescono a condividere e valorizzare le proprie attività, per quanto eccezionali», spiega Paolo Paolini, coordinatore di Scuolab e docente di informatica nell'ateneo lombardo. «Riportare che si è fatta intervenire la classe al minuto x è inutile, mentre magari si tralascia di spiegare come è stata gestita. È quindi necessario che si impari a descrivere le esperienze nel modo più utile agli altri». Anche i forum non funzionano granché: «I coordinatori hanno un ruolo ancora troppo rilevante e sono quasi sempre gli unici a lanciare gli argomenti di discussione», afferma ancora Paolini. «Nel percorso seguito dagli insegnanti per conseguire il Dol, il diploma online per esperti di didattica assistita dalle nuove tecnologie rilasciato dal Politecnico, il sistema funziona e si instaurano discussioni proficue. Terminato il percorso, però, gli insegnanti smettono di usare la piattaforma».

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

Tre buoni motivi per stare online

Cerchiamo ora di riprendere la domanda da cui eravamo partiti: anche gli

La condivisione delle pratiche didattiche è un seme dalle potenzialità immense, ma deve essere fatto crescere nelle condizioni ambientali giuste

insegnanti, dunque, subiscono il fascino dei social network? Navigando per diversi siti, si possono identificare tre tendenze nella frequentazione di comunità virtuali da parte di docenti: 1) per chiedere consigli a colleghi su come risolvere un particolare problema e, magari, anche per sfogarsi un po'; 2) per scambiare esperienze, in modo sia strutturato (come in Scuolab) sia "informale" (come in Vocescuola); 3) per imparare a utilizzare le nuove tecnologie. In quest'ultimo caso e in quello dello scambio di esperienze strutturate, però, sembra chiaro che gli insegnanti preferiscono avere una guida, probabilmente perché si tratta di attività che richiedono troppo tempo e impegno. «Le persone si aggregano per uno scopo. Per i docenti l'obiettivo è spesso imparare, ma anche dare valore al proprio lavoro, per costruirsi un'identità sociale, professionale e culturale al tempo stesso. Internet dà loro questa possibilità», commenta Gianni Marconato, promotore de *La scuola che funziona*, constatando però che gli utenti realmente attivi sul sito sono appena il 10% degli iscritti.

Un seme dalle potenzialità immense

La pensano così anche Paolini, Maffucci e Matteo Cattadori, insegnante al momento impegnato nel Servizio sviluppo e innovazione del Sistema scolastico e formativo della Provincia autonoma di Trento, tra gli ideatori di *iCleen* (**www.icleen.museum**), un portale collaborativo per la didattica delle scienze della Terra realizzato dal Museo tridentino di scienze naturali. Gli insegnanti partecipanti possono portare avanti insieme progetti e condividere esperienze e qui i contributi vengono persino pagati. «La condivisione delle pratiche didattiche è un seme dalle potenzialità immense», dice Cattadori, «ma deve essere fatto crescere nelle condizioni ambientali giuste. Da una parte serve una presa di posizione precisa delle istituzioni, che dovrebbero riconoscerla come una forma di apprendimento alla stessa stregua di un corso di aggiornamento, e incentivarla; dall'altra, i docenti dovrebbero imparare a essere più rilassati: non serve scrivere cinque pagine per raccontare un'esperienza, come se si scrivesse per una rivista scientifica con *peer review*».

Viva lo sponsor?

In ogni caso, un sito come iCleen non si mette in piedi in due minuti, ma in anni. Per questo c'è chi pensa che l'intervento di sponsor e di soggetti competenti che contribuiscano economicamente al progetto non possa che portare buoni frutti. Esempi di community istituzionali sono *Innovascuola* (**www.innovascuola.gov.it**) e *Animat* (**www.animat.it**), dell'associazione nazionale di insegnanti di matematica. *Scuola che fa rete* (**www.scuolachefarete.it**) e *Apprendere in rete* (**www.apprendereinrete.it**) sono, invece, esempi di comunità sponsorizzate (da Telecom e Microsoft, rispettivamente).

PAROLE CHIAVE

Bacheca Parte di un sito di una community o di un social network in cui si possono lasciare i propri post (articoli, pensieri ecc.).

Blog Sito internet, spesso gestito da un unico autore e con contenuti di carattere personale (il termine nasce dall'unione di *web* e *log*, il diario di bordo tenuto dal capitano di una nave), in genere aggiornato di frequente.

Chat Strumento di comunicazione immediata (colletiva o privata), in cui ci si scambiano brevi messaggi scritti, come in una conversazione vera e propria. Simile a una telefonata o a una *conference call*.

Forum Porzione di un sito in cui avvengono discussioni pubbliche, come in una "piazza" virtuale. Può essere ad accesso libero o limitato (per esempio il forum di una classe). Ogni forum contiene diverse sezioni, ognuna per un tema di dibattito (in gergo *topic*). In genere chiunque abbia accesso alla piattaforma può aprire un topic e tutti possono commentare, ma talvolta è prevista la figura di un moderatore. Il tipo di comunicazione non è immediato.

Wiki Nella definizione di Wikipedia, la wiki più nota e utilizzata al mondo, si tratta di una collezione di documenti ipertestuali, creati e aggiornati dai suoi utilizzatori in modo collaborativo.

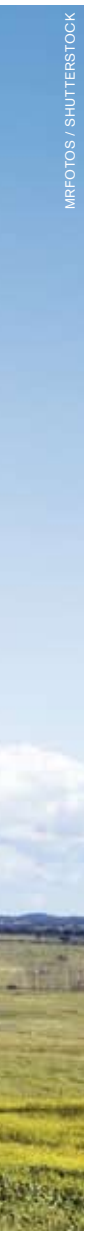
MULTIMEDIA
www.linxedizioni.it

IL BELLO DELLA **RICERCA "VERA"**

Una fortunata collaborazione tra un liceo scientifico e un'università ha permesso di applicare sul serio il metodo scientifico, con risultati molto interessanti sul leccio come indicatore biologico.

EMANUELA STORTI

A volte le attività didattiche più innovative nascono quasi per caso. Da un approfondimento sulla microscopia svolto da una seconda classe del liceo scientifico Leonardo Da Vinci di Firenze in collaborazione con la locale università, per esempio, si è sviluppata una vera e propria esperienza di ricerca scientifica, che ha permesso ai ragazzi di lavorare fianco a fianco con ricercatori universitari, e che ha avuto un'azione formativa molto efficace e una valenza didattica assai elevata.
Siamo partiti dalla possibilità di confrontare immagini ottenute con i microscopi ottici disponibili a scuola e con il microscopio elettronico dell'università,



MRFOTOS / SHUTTERSTOCK

per verificare come – insieme – i due tipi di immagini fornissero una visione più completa del microcosmo che ci circonda. Poteva essere sufficiente questo, ma abbiamo deciso di continuare le osservazioni, fino a impostare un vero esperimento scientifico di cui, a dire il vero, non conosciamo ancora tutte le potenzialità. Al punto che la collaborazione con l'università, che doveva concludersi lo scorso anno e che doveva avere il solo scopo di favorire un approfondimento delle tecniche, sta ancora proseguendo.
Certo, come in tutti gli esperimenti scientifici, molto importante e fortunata è stata la scelta del materiale (se Mendel non avesse scelto *Pisum sativum* per i suoi esperimenti...), ma indubbiamente la curiosità suscitata dai primi risultati e in generale l'interesse verso il mondo sono stati i veri motori di tutta l'iniziativa.

Un'opportunità eccellente

Nelle classi seconde dei licei scientifici con indirizzo sperimentale per le scienze vengono in genere affrontati i temi della microscopia e dell'interpretazione delle immagini ottenute con microscopio.
Il liceo Da Vinci di Firenze ha laboratori molto attrezzati e ogni studente può disporre di un "proprio" microscopio ottico, per osservare e imparare a riconoscere cellule animali e vegetali, protozoi, ife fungine, diatomee ecc.
Ovviamente a scuola non c'è un microscopio elettronico, ma per nostra fortuna abbastanza vicino al liceo ha sede il Centro interdipartimentale di microscopia elettronica e microanalisi (Mema) dell'Università di Firenze. I ricercatori e i tecnici del centro sono stati molto disponibili e ci hanno permesso di usufruire del microscopio elettronico a scansione (SEM) di cui dispongono, che permette di analizzare i campioni sia dal punto di vista morfologico sia da quello della composizione chimica grazie alla microanalisi. Dopo una lezione di due ore tenuta nei locali scolastici dagli operatori del centro, in cui sono stati spiegati la struttura e il funzionamento del microscopio elettronico, nonché le tecniche di metallizzazione a grafite e a oro necessarie per la preparazione dei campioni, i ragazzi della seconda A sono stati accolti al centro stesso per effettuare le prime osservazioni.
Alcuni campioni erano già disponibili, altri sono stati portati da noi e poi metallizzati.
Alla classe sono risultate subito chiare le elevatissime potenzialità dello strumento: alto potere di risoluzione (la distanza minima alla quale due punti sono percepiti come distinti, pari a circa 2 nm); altissimo ingrandimento (250 000 volte); alta profondità di campo (intervallo spaziale entro il quale il campione può essere spostato senza perdere la messa a fuoco); altissima "versatilità". Con il SEM, infatti, si può operare in campi molto diversi della ricerca e si possono osservare praticamente tutti i tipi di campioni, se raccolti e preparati in modo opportuno.

Tante domande in cerca di risposta

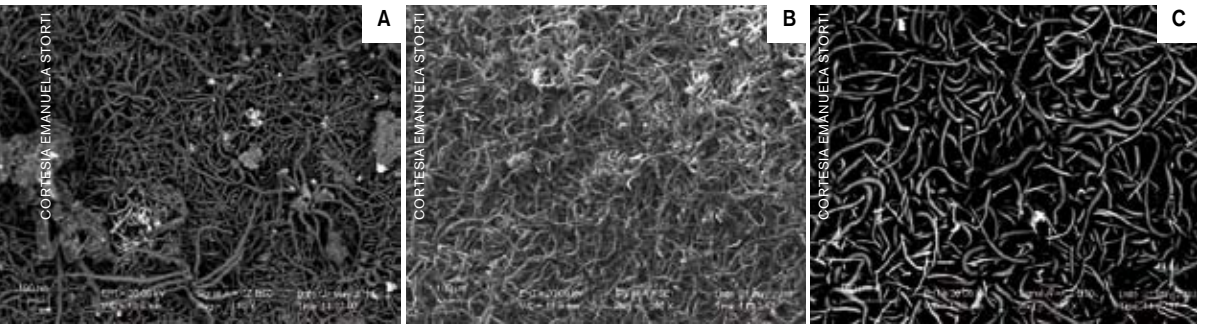
Abbiamo osservato peli, pollini, fili, ali e occhi di insetti, cristalli, diatomee e – ecco la nostra fortuna – foglie di leccio. È stato subito evidente come la pagina inferiore di queste foglie fosse ricoperta da una fitta e aggrovigliata peluria che tratteneva particelle solide di varie forme e dimensioni. Eseguendo, sempre con il SEM, la microanalisi a raggi X di tali particelle, abbiamo visto che esse erano ricche di silicio, calcio, carbonio, alluminio e altri metalli, deducendo che probabilmente derivavano dall'inquinamento ambientale presente nella zona della città, ad alta densità di traffico, dove la foglia in esame era stata raccolta. Abbiamo quindi pensato di approfondire con "metodo scientifico" la questione, proseguendo le nostre osservazioni. Intanto sorgevano spontaneamente alcune domande:
1. Le particelle sono realmente collegate all'inquinamento ambientale presente nella zona di crescita della pianta?
2. Piante cresciute in zone diverse presentano particelle diverse sia come composizione sia come abbondanza?
3. Qual è la funzione "evolutiva" dei peli del leccio? 4. Tra le varie piante perenni, sempreverdi e ad alta diffusione è solo il leccio a presentare sulla pagina inferiore questa peluria che lo rende utilizzabile come "marcatore biologico", oppure esistono altre piante, della stessa o di altre famiglie, che abbiano caratteristiche simili e siano diffuse nelle nostre zone?

Raccolta sul campo e analisi in laboratorio

Per rispondere alle prime due domande gli studenti hanno raccolto foglie di lecci situati in zone molto distanti e molto diverse tra loro per il livello di traffico e l'inquinamento ambientale: la zona di piazzale Donatello lungo i principali viali fiorentini caratterizzati da traffico intenso (foglia A); la zona di Poggio alla Malva, paesino nelle campagne intorno a Firenze con traffico e inquinamento ridotti (foglia B); infine una zona non raggiungibile in automobile e lontana sia dai centri abitati sia dalle principali vie di comunicazione (foglia C). Le tre foglie sono state portate al Centro Mema, metallizzate e accuratamente osservate; inoltre, è stata eseguita la microanalisi delle particelle eventualmente presenti tra i peli della pagina inferiore.
Le osservazioni hanno confermato le nostre ipotesi. Il campione A è risultato molto più ricco di particelle del campione C e anche la composizione chimica di tali particelle è apparsa differente: nel campione A abbiamo riscontrato ossigeno, silicio, alluminio e carbonio,

DREAM CEFE-CNRS

Dettaglio di foglie e ghiande di un leccio. Nella pagina a fianco, paesaggio con leccio.



Microfotografie di tre foglie di leccio raccolte rispettivamente presso: piazzale Donatello a Firenze (A); Poggio alla Malva (B); località lontana da centri abitati (C).

LA PAROLA AI RAGAZZI

I ricercatori del Centro Mema dell'Università di Firenze ci hanno permesso di vivere un'avventura molto interessante dal punto vista scientifico, che ci ha portato a cooperare con veri esperti del settore e a imparare a muoverci in un laboratorio. Questa collaborazione è stata, prima di tutto, un'esperienza di vita che ci ha insegnato quanta dedizione e quanto impegno servano per seguire le proprio passioni, sapendo di ottenere in cambio poco o nulla, se non una grande soddisfazione personale. In Italia, infatti, se non si ama veramente la scienza non si è stimolati a coltivarla: le condizioni di molti centri di ricerca sono disastrose e spesso gli scienziati lavorano in circostanze inadeguate. Per fortuna, la loro grande passione riesce a tenere in vita la scienza, e a produrre indagini interessanti.
Classe III A, liceo scientifico Leonardo da Vinci di Firenze, a.s. 2010/2011

oltre ad abbondanti tracce di ferro; nel campione C abbiamo trovato di nuovo silicio e alluminio, ma poco ossigeno e niente ferro. Una situazione intermedia, sia come numero di particelle sia come loro composizione chimica, è stata riscontrata per il campione B.

Identikit di una pianta

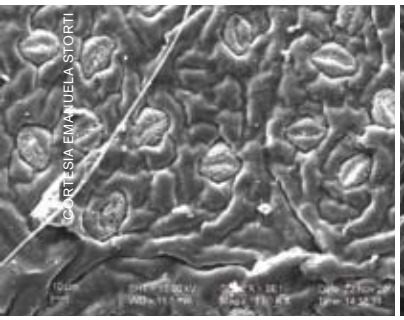
Per rispondere alla terza domanda abbiamo svolto un'accurata ricerca bibliografica sul leccio, sia nella fornita biblioteca scolastica sia su Internet. Abbiamo scoperto che questa pianta, *Quercus ilex*, è una delle essenze che costituiscono i tipici boschi della macchia mediterranea delle latifoglie e sempreverdi, ed è ampiamente diffusa dal livello del mare fino a un'altitudine di 1200 m. Ha una crescita lenta e una vita molto lunga, arriva a tre metri di altezza in 20 anni e può raggiungere i 30 m. La chioma è chiusa e rotonda, il tronco corto e i rami diritti e ascendenti. È presente in tutte le regioni del Mediterraneo, lungo la fascia costiera, nelle isole e, in Italia, nell'Appennino centro-meridionale; inoltre è diffuso in giardini, viali e parchi di moltissime città italiane. È xerofilo, resiste alla siccità e al vento e cresce bene in tutti i terreni a eccezione di quelli molto umidi. Le sue foglie sono coriacee e sono un tipico esempio di xerofilia, fenomeno grazie al quale la pianta riesce a evitare i danni meccanici che potrebbero interessare i tessuti interni nei periodi di maggiore aridità, quando la penuria di acqua tende a provocare un appassimento della foglia. La pagina inferiore delle foglie appare grigia e vellutata per la presenza di un elevato numero di piccolissimi e intricati peli che proteggono gli stomi dall'azione disidratante del vento. Nei periodi di siccità, infatti, gli stomi potrebbero rappresentare una fattore di rischio per le piante che, attraverso di essi, potrebbero perdere notevoli quantità di acqua a causa della minor umidità dell'ambiente esterno rispetto ai tessuti della foglia. La pianta si difende affossando gli stomi e ricoprendoli con una ricca peluria: la stessa che, secondariamente, "imbriglia" le particelle degli inquinanti che abbiamo osservato al microscopio.

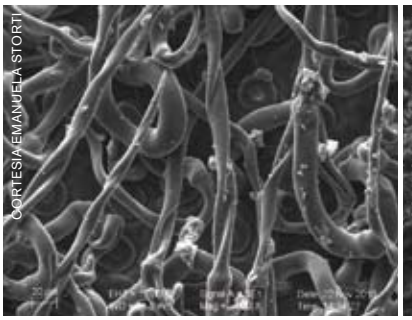
Alla ricerca dell'indicatore ottimale

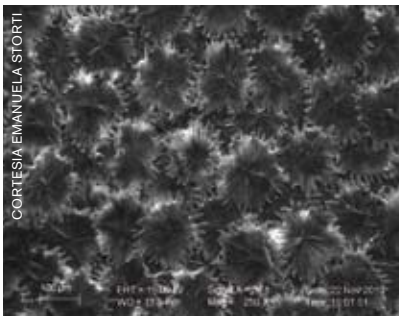
Anche per capire se altre piante della famiglia delle querce o di altre famiglie potevano avere caratteristiche analoghe a quelle del leccio e qual era la loro distribuzione (quarta domanda) siamo partiti da una ricerca bibliografica, per poi analizzare al microscopio le foglie di piante che avevano suscitato il nostro interesse. Una quercia con caratteristiche fogliari simili al leccio per quanto riguarda la peluria è la "sughera" (*Quercus suber*), la cui diffusione non è però molto ampia, visto che è presente quasi esclusivamente in Sardegna e in certe zone della costa occidentale della nostra penisola. Altre querce più diffuse e dotate di tomentosità nella pagina inferiore hanno altri limiti: per esempio, hanno foglie decidue come *Quercus frainetto* (il carattere di sempreverde è essenziale perché una pianta possa essere usata come indicatore ambientale di inquinamento) oppure, pur essendo perenni, non sono diffuse in Italia, come la quercia dorata di Cipro (*Quercus alnifolia*) o *Quercus myrsinifolia* presente solo in Cina, Giappone e in altre zone dell'Asia.
Alla ricerca di piante che fossero allo stesso tempo ampiamente diffuse in tutta Italia, sempreverdi e con foglie dotate di peluria nella pagina inferiore, ci siamo concentrati su tre piante ben presenti in Toscana: l'ulivo, l'alloro e la magnolia.

Il primato del leccio

Foglie delle tre piante in questione sono state raccolte e portate al Centro Mema per la metallizzazione e la successiva osservazione. Le foglie lanceolate dell'olivo (*Olea sativa*) presentano una tomentosità nella pagina inferiore che conferisce loro il tipico colore argentato ed è costituita da peli che, anche in questo caso, hanno la funzione di proteggere la pianta dall'eccessiva traspirazione che potrebbe verificarsi durante le calde estati mediterranee. L'analisi microscopica, però, ha rivelato che tali peli sono stellati, corti e ordinati e quindi non paragonabili a quelli lunghi e







Da sinistra a destra: microfotografie di foglie di alloro, magnolia e ulivo.

aggrovigliati del leccio nel trattenere il particolato. Le foglie dell'alloro (*Laurus nobilis*), pianta diffusa dalle coste alle città interne della penisola, sono invece coriacee e al microscopio sono apparse ricoperte da uno spesso strato di materiale ceroso nella pagina inferiore. Questa strategia, adottata dalla pianta per resistere all'eccessiva traspirazione, ovviamente ha indotto noi a escluderla dalla "rosa" di possibili alternative al leccio. Infine la magnolia (*Magnolia grandiflora*): l'osservazione della pagina inferiore delle sue foglie al microscopio elettronico ha mostrato una ricca e fitta peluria in grado di trattenere particolati vari. La magnolia potrebbe quindi per questa caratteristica essere paragonabile al leccio, ma a differenza di esso si tratta di una pianta ornamentale, coltivata e di origine non mediterranea. In realtà abbiamo appurato che anche altre essenze tipiche della macchia mediterranea, quali l'alaterno (*Rhamnus alaternus*) e il lentisco (*Pistacia lentiscus*) hanno sviluppato una peluria simile a quella del leccio, ma si tratta di arbusti la cui identificazione da lontano risulta difficoltosa a causa delle piccole dimensioni.

La curiosità prima di tutto

Dall'insieme dei dati raccolti sia attraverso l'analisi al microscopio elettronico sia con le ricerche bibliografiche possiamo per ora concludere che, tra le tante piante osservate e studiate, il leccio è quella che più si presta a svolgere l'importante ruolo di indicatore biologico di inquinamento a particolato nella zona di crescita della pianta stessa. Ovviamente gli approfondimenti da fare sarebbero ancora tantissimi, come tantissime sono le piante da vagliare e le foglie da osservare. Quello che conta, però, è che la classe ha avuto l'opportunità di svolgere una vera esperienza di ricerca, applicando in pratica quello che nei testi scolastici viene definito "metodo scientifico", suddiviso nelle classiche cinque fasi: osservazioni, domande, ipotesi, verifiche e conclusioni. Troppe volte la successione di queste fasi viene imparata a memoria dagli studenti e non capita appieno; nel caso di questa esperienza, invece, essa è nata spontaneamente nelle menti dei ragazzi. E in effetti il risultato più significativo di questo lavoro, che pur qualche dato nuovo forse ha prodotto, è stato proprio quello di risvegliare negli studenti un reale interesse per il mondo che ci circonda, di "toccare con mano" quante cose da capire e da scoprire ancora ci sono. Perché l'importante è continuare a porsi domande, forse più che trovare risposte. Leonardo da Vinci annotava nei suoi appunti decine e decine di domande, fiducioso che nel tempo il suo cervello avrebbe elaborato le risposte, mentre il grande fisico Albert Einstein scriveva: «La creatività è la capacità di vedere quello che vedono gli altri e pensare quello che nessuno ha mai pensato. Per questo l'immaginazione è più importante della conoscenza». Ecco perché ritengo che il principale compito della scuola secondaria e in particolare di un liceo scientifico sperimentale come è il nostro, più che trasmettere informazioni, sia tener vivo l'interesse dei ragazzi per la scienza e per la scoperta e alimentare la curiosità come vero motore della ricerca nelle menti dei giovani a cui la ricerca verrà affidata.

Un ringraziamento particolare al personale universitario del Centro Mema (Maurizio Ulivi, Giovanni Pinto e Mauro Paolieri) che con grande pazienza e competenza ci ha accompagnato nelle nostre ricerche.

EMANUELA STORTI
dopo la laurea in scienze biologiche all'Università di Firenze (1985), ha svolto attività di ricerca nel settore della genetica vegetale per circa dieci anni in università e per due anni presso Agrimont, Montedison di Massa Carrara. Oggi è docente a tempo indeterminato di scienze naturali nel corso A sperimentale per le scienze del liceo scientifico statale Leonardo da Vinci di Firenze.

IN RETE!

Il leccio Informazioni botaniche sulla pianta. **http://it.wikipedia.org/wiki/Quercus_ilex e www.meditflora.com/flora/quercusilex.htm**

Piante online Raccolta di materiale didattico su agricoltura, zootecnia e ambiente. **www.agraria.org**

PER APPROFONDIRE

— D. Aichele, A. Schwegler, *Che albero è questo?*, Franco Muzzio Editore, 1988.

— J. Burkhardt, *Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants?*, in "Ecological Monographs", 2010, vol. 80, pp. 369-399.

— J. Coombes Allen, *Alberi*, Fabbri, Milano 1999.

— E. Ferioli, *L'atlante degli alberi d'Italia*, Giorgio Mondadori Editore, Milano 1987.

— R. Gellini, F. Bussotti, D. Bettini, P. Grossoni, A. Bottacci, *Species of the genus Quercus in Italy: characterization by means of leaf surface observation*, in "Giornale Botanico Italiano", 1992, vol. 126, pp. 481-504.

Insieme tra i ghiacci per una nuova **didattica**

Da una ricerca paleoclimatica polare la proposta di un nuovo modello di collaborazione tra ricercatori e insegnanti. Con al centro il processo di indagine scientifica.

MATTEO CATTADORI

Scienze integrate. Ecco il termine che, di questi tempi, provoca più scompiglio nel mondo della scuola. Attorno alla sua corretta interpretazione si stanno svolgendo dialoghi e discussioni a vari livelli e l'argomento è spesso fonte di apprensione se non di vera e propria preoccupazione. Un'ipotesi di interpretazione viene da un'esperienza svolta in questi anni all'interno di una ricerca scientifica integrata per definizione, messa in pratica nell'ambito delle scienze polari, uno dei rami di cui si compone l'albero delle scienze del sistema Terra. Parlo del progetto di ricerca internazionale Andrill (Antarctic geological drilling; **http://andrill.org**), avviato nel 2005 con un elemento decisamente fuori dagli schemi: l'idea di un programma di comunicazione scientifica sul progetto stesso, specifico per le scuole e da affidare in blocco a un team di insegnanti appositamente selezionati. Un'idea inconsueta, frutto anche del fatto che il principale ente finanziatore della ricerca, la National Science Foundation americana, imponeva a tutte le richieste di finanziamento – come del resto fa tuttora – di prevedere lo svolgimento di precise forme di divulgazione delle proprie attività di ricerca, secondo il cosiddetto Broader Impact Criterion.

Docenti tra i ghiacci

Al progetto Andrill hanno partecipato circa 200 ricercatori appartenenti a enti e istituzioni di quattro nazioni: Stati Uniti, Nuova Zelanda, Germania e Italia. Gli enti partecipanti (per il nostro paese l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia, Ingv, di Roma e il Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Siena) hanno realizzato commissioni e procedure *ad hoc* per la selezione degli insegnanti che avrebbero preso parte al programma di comunicazione, con l'obiettivo di divulgare finalità, metodi e risultati della ricerca alle comunità scolastiche nazionali.
In particolare, ogni candidato doveva presentare un progetto di comunicazione

DAVIDE PERSICO HTTP://ANELLOMANCANTE.BLOGSPOT.COM/

Suggestiva immagine della calotta polare antartica.

per le scuole del proprio paese. Il bando per la selezione è stato diffuso attraverso i principali enti mondiali che si occupano di didattica scientifica per le scuole; tra questi figurava la National Science Teachers Association degli Stati Uniti (**www.nsta.org**), dalla quale io stesso sono venuto a sapere dell'iniziativa.

Programma Arise

Il programma di comunicazione complessivo realizzato da Andrill è stato battezzato con l'acronimo Arise, che restituisce bene il suo scopo poiché, tradotto, significa "esperienza di immersione per insegnanti di scienze nella ricerca Andrill". Prevedeva che il team dei docenti venisse incorporato in quello dei ricercatori e che seguisse da vicino ogni singola fase della ricerca, che si è svolta con due campagne di perforazione dei ghiacci in Antartide, condotte nelle estati australi del 2006 e 2007. In tutto, il progetto ha coinvolto 13 docenti: 7 americani, 2 italiani, 2 tedeschi e 2 neozelandesi. Ognuno di noi, durante la partecipazione alla spedizione antartica ha interagito costantemente con i ricercatori, sia perché li aiutava nel loro lavoro quotidiano, sia perché poteva contare sulla loro disponibilità a spiegare tutti gli aspetti della ricerca: presupposto indispensabile per realizzare il proprio progetto di comunicazione per le scuole. Inoltre, il confronto e la collaborazione con gli altri colleghi insegnanti di Arise ha arricchito ulteriormente l'esperienza.

Un viaggio nel tempo

A questo punto, però, vale la pena dire qualcosa sullo scopo scientifico di Andrill, che potrebbe essere sintetizzato così: studiare la "storia più vecchia possibile" dell'ambiente antartico "più sensibile" ai cambiamenti climatici, cioè l'ambiente delle piattaforme di ghiaccio, *ice shelves*, con lo scopo di migliorare la comprensione del ruolo del ghiaccio antartico sul sistema climatico globale [1]. Le piattaforme di ghiaccio sono ambienti di confine, situati ai margini più esterni dell'immensa calotta glaciale che si muove lentamente dall'interno del continente verso l'esterno. Arrivato sulla costa, il ghiaccio si spinge in ambiente marino, formando una distesa piatta e sterminata che si appoggia per un tratto direttamente al fondale marino mentre per la parte restante rimane sospesa nell'acqua. La piattaforma oggetto della ricerca era quella di Ross, la più grande piattaforma di ghiaccio del nostro pianeta, con un'estensione pari a quella della Francia.
La "storia più vecchia possibile" di questo ambiente si trova nei sedimenti marini che la piattaforma stessa ha depositato sul fondale nel corso dei millenni (o anche di milioni di anni).

Un lavoro complesso per domande importanti

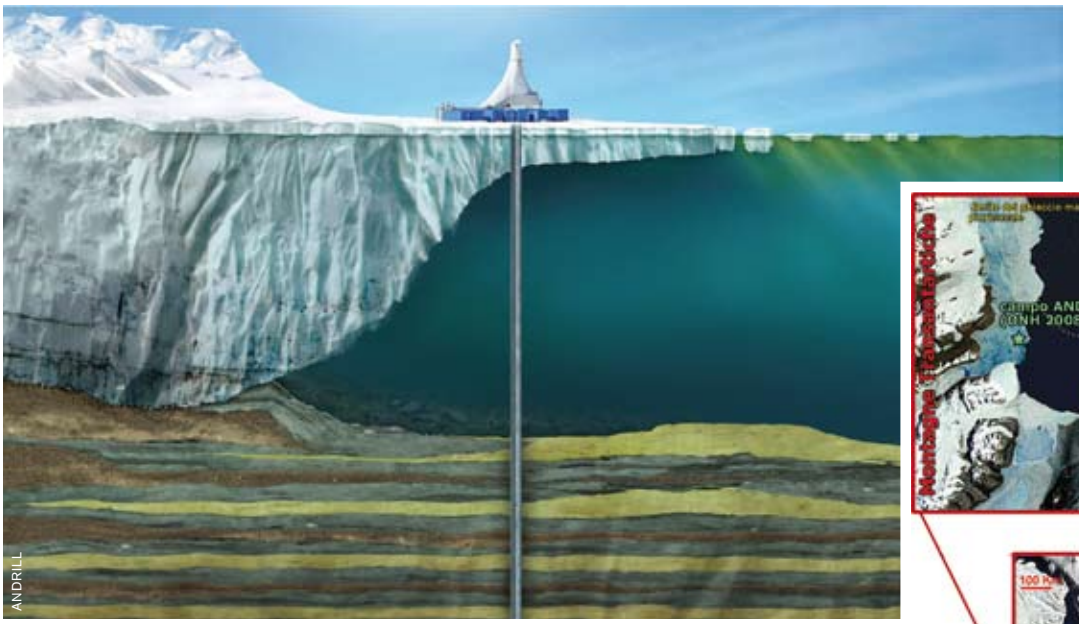
Andare a prendere un campione di questi sedimenti comportava ovviamente difficoltà enormi, sia per le condizioni ambientali proprie del continente (basti pensare che la brevissima estate antartica mette a disposizione solo poche decine di giorni con temperature accettabili per lavorare), sia per quelle specifiche del sito scelto per la perforazione. Si trattava infatti di forare uno strato di ghiaccio di 80 metri, superare lo strato di mare sottostante (per altri 800 metri) e arrivare finalmente al fondale marino, dove iniziare un carotaggio per riportare in superficie un campione di roccia che doveva essere il più lungo e intatto possibile. Il tutto complicato dal movimento del ghiaccio su cui poggiava la torre di perforazione.
La carota estratta sarebbe stata studiata e analizzata nei minimi particolari dai ricercatori Andrill suddivisi in team disciplinari differenti: da qui la natura "integrata" della ricerca. Micropaleontologi, fisici, sedimentologi, biochimici, petrografi e matematici avrebbero ricavato dalla roccia tutte le informazioni possibili per cercare di ricostruire la storia di questo delicato ambiente di confine tra la gigantesca calotta glaciale continentale a Sud e l'oceano australe situato più a Nord. Quali e quante variazioni di estensione aveva avuto in passato la piattaforma di Ross? Per quali cause? È capitato in passato che si sciogliesse completamente? E soprattutto: come ha risposto (e risponde) alle variazioni di temperatura dell'acqua del mare? Sono tutte domande le cui risposte possono aiutarci a capire non solo dove ci stanno portando i cambiamenti climatici globali a cui stiamo assistendo in questi decenni, ma anche come migliorare la comprensione del funzionamento della "macchina climatica".

La piattaforma al caldo

A più di quattro anni dalla prima perforazione, i risultati conseguiti da Andrill continuano a essere oggetto di interesse sia nei convegni scientifici internazionali sia sulla stampa scientifica specializzata [2]. Le due carote di roccia recuperate (ognuna della lunghezza complessiva di oltre 1000 metri) hanno permesso di lanciare uno sguardo unico e sorprendente sulle vicende della piattaforma di Ross degli ultimi 20 milioni di anni. E di scoprire, per esempio, una fase calda avvenuta circa un milione di anni fa che ha analogie con la fase calda attuale (anche se quest'ultima, a differenza della prima, ha causa antropica). I dati raccolti su questo evento potranno aiutare a investigare (e prevedere) meglio effetti e conseguenze del riscaldamento attuale.

Fianco a fianco con i ricercatori

Grazie al programma Arise, noi insegnanti abbiamo partecipato a ogni singola fase del progetto Andrill che per vastità, diversità e coinvolgimento dei contenuti scientifici toccati, abbiamo subito battezzato scherzosamente "la Disneyland delle scienze del sistema Terra". Dunque abbiamo preso parte non solo alla spedizione sul continente antartico, durata due mesi e con sede presso la base americana di Mc Murdo, ma anche a tutti gli incontri precedenti e successivi tra ricercatori svoltisi presso gli enti di ricerca coinvolti, che avevano lo scopo di fare il punto della situazione sullo stato di avanzamento delle indagini e di aggiornarci in merito.



A sinistra, sezione verticale dell'ambiente della piattaforma di ghiaccio. In basso, collocazione geografica della piattaforma di Ross.

Come anticipato, il nostro obiettivo era duplice: da un lato, aiutare i ricercatori nelle mansioni quotidiane di processamento dei campioni durante la spedizione antartica; dall'altro, trasferire il processo della ricerca scientifica agli studenti dei nostri paesi, nei tempi e modi stabiliti dal progetto di comunicazione di ciascuno.

progettosmilla.it

Il progetto selezionato per rappresentare l'Italia all'interno del programma Arise per la prima spedizione antartica di Andrill, nel 2006, è stato *progettosmilla.it* (**www.progettosmilla.it**), che ho avviato anche grazie alla collaborazione con il Programma nazionale di ricerca in Antartide e il Dipartimento istruzione della Provincia di Trento.
Lo scopo di progettosmilla.it era quello di spiegare Andrill e la spedizione antartica, con un occhio al rigore scientifico, ma anche nel modo più coinvolgente possibile sia per gli studenti sia per gli insegnanti e attingendo a tutti gli strumenti disponibili, tecnologici e non.
Lo strumento principale del progetto è stato lo sviluppo di un sito, su cui è stata caricata via via una serie di materiali prodotti con la revisione scientifica dei ricercatori: una descrizione didattica della ricerca, vari documenti multimediali (audio, foto, video), due animazioni didattiche interattive originali e otto cartelle contenenti informazioni e risorse per i docenti su temi collegati alla ricerca, i cosiddetti "smilla-temi" quali per esempio *Clima e cambiamenti climatici*, oppure *Micropaleontologia e paleoclimatologia*. Il sito ospita tuttora i materiali raccolti, e continua a vivere attraverso un blog che intende offrire idee e spunti per una didattica attiva delle scienze della Terra. Attraverso questo sito, sono stati forniti ai docenti gli strumenti per svolgere con le proprie classi un piccolo percorso di approfondimento sul tema Antartide e clima, personalizzato in base alle proprie esigenze. Il percorso – che prevedeva anche almeno un incontro di persona presso la scuola partecipante – si concludeva con la produzione da parte della classe di un prodotto finale di varia natura da pubblicare, ove possibile, anch'esso sul sito.
Da questa iniziativa, inoltre, sono scaturiti due corsi di aggiornamento per insegnanti dedicati all'Antartide, ad Andrill e allo studio del clima.
Nel triennio 2006-2009 Smilla ha coinvolto oltre 2000 studenti e 120 docenti di scuola secondaria di primo e secondo grado di 18 province italiane. Inoltre, sono stati realizzati oltre 100 incontri nelle scuole.

Smilla si allarga

Nel 2009 il progetto è stato integrato nei servizi offerti dal Museo tridentino di scienze naturali (**www.mtsn.tn.it**), che si caratterizza da sempre per cura e innovazione delle proposte didattiche alle scuole. Questo ha permesso di ampliare la rete di relazioni e attività a livello sia locale (in particolare per quanto riguarda il Museo nazionale dell'Antartide) sia internazionale. Tra gli obiettivi di medio-lungo termine realizzati successivamente a questa integrazione vale la pena segnalarne almeno due. Il primo è la traduzione e pubblicazione della versione italiana di un kit didattico dal titolo *L'Antartide e i segreti del clima* (un libro di 250 pagine con 15 attività pratiche, un Dvd e cinque poster) realizzato da un insegnante Arise americano per la realizzazione di semplici esperimenti in classe sul tema. Il kit è distribuito alle scuole italiana al prezzo simbolico di cinque euro [3]. Il secondo, reso possibile dal coinvolgimento del progetto tra le attività dell'Anno polare internazionale, è consistito nella stesura di un contributo per un libro di didattica delle scienze polari, in collaborazione con ricercatori

Gli insegnanti del gruppo Andrill-Arise 2006. Da sinistra e dall'alto: Julian Thomson (Nuova Zelanda), Betty Trummel (Stati Uniti), Alexander Siegmund (Germania), LuAnn Dahlman (Stati Uniti), Vanessa Miller (Stati Uniti), Matteo Cattadori (Italia). Cattadori è laureato in scienze naturali a Parma e ha conseguito un master in Ict a Bologna. Da un paio d'anni lavora al Museo tridentino di scienze naturali di Trento, occupandosi di servizi e progetti web per i docenti di scienze. È insegnante di scienze e materie scientifiche nelle scuole superiori dal 1989.

dell'Eurac di Bolzano [4].
Nel giugno 2010 due insegnanti di progettosmilla.it hanno potuto testimoniare le proprie esperienze durante il convegno di chiusura dell'Anno polare internazionale di Oslo (Oslo Science Conference) e all'evento Polar Teachers, che ha riunito un centinaio di insegnanti "polari" di tutto il mondo. Il prossimo, ambizioso, obiettivo è la realizzazione della prima edizione della SPEs, Scuola polare estiva per insegnanti (vedi sezione *Da non perdere*, pp. 4-5).

Una risorsa preziosa

Oltre a fornire una possibile chiave di lettura del termine "scienze integrate", quanto descritto dice qualcosa in più. Dice, per esempio, che un insegnante può svolgere un ruolo essenziale in un programma di Educational and Public Outreach di una ricerca scientifica, facendosi carico, se ben supportato, dei seguenti due obiettivi. Il primo è la traduzione dell'esperienza scientifica in pratica didattica. Questa è un'attività complessa [5], ma anche fondamentale perché è l'unica capace di avvicinare lo studente al processo che determina la genesi delle evidenze scientifiche. Da qui nasce la possibilità, preziosa, di fornirgli gli strumenti più utili per orientarsi criticamente nell'oceano di informazioni in cui vive e di cui tra l'altro gli argomenti climatici sono spesso oggetto. Il secondo obiettivo è la realizzazione di un profondo radicamento, nella realtà scolastica del proprio territorio, delle attività cosiddette *educational*, che son svolte con sempre maggiore frequenza da ditte, enti e istituzioni con finalità generali di carattere formativo. Trova così conferma quanto enunciato anche nel cosiddetto Report Rocard sullo stato della divulgazione scientifica nelle scuole europee e cioè che: «Teachers are key players in the renewal of science education» [6].
Se infine consideriamo che, ormai da alcuni anni, sia la scuola sia la ricerca stanno registrando cambiamenti profondi e radicali che comportano un miglior sfruttamento delle risorse a disposizione, una diffusione più capillare e incisiva di iniziative educational, la riqualificazione della professionalità insegnante, allora questa esperienza indica che il docente è una risorsa diffusa, preziosa e insostituibile nella realizzazione di nuovi modelli di comunicazione scientifica più rispondenti ai cambiamenti in atto.

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

RISORSE

1. F. Florindo, M. Siegert, *Antarctic Climate Evolution*, in "Developments in Earth and Environmental Sciences series", Elsevier, 2009.

2. T. Naish et al. *Obliquity-paced Pliocene West Antarctic ice sheet oscillations*, in "Nature", 2009, vol. 458, pp. 322-328.

3. L. Dahlman (edizione italiana di M. Cattadori and C. Ossola), *L'Antartide e i segreti del clima: attività di laboratorio per allestire una mostra sulla ricerca climatica in Antartide*, Terra Antartica Publication, Siena 2009. **www.progettosmilla.it/flex**

4. B. Kaiser, B. Allen and S. Zicus, *Polar science and global climate. An International resource for education and outreach*, Pearson Custom Publishing, London 2010.

5. T.A. Koszalka, *Integrating authentic science and educational technologies into middle and high school curriculum*, in "Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, 1960-1965", J. Nall & R. Robson (Eds.), 2004.

6. *Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. Scaricabile dal sito **www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.lso-observatory-documents-background-documents.9003**

IN RETE!

Animazioni e multimedia polari
Dal sito di progettosmilla.it, due animazioni didattiche interattive da usare in classe e materiali foto, audio e video su Andrill e la base Mc Murdo. **www.progettosmilla.it/2/animazioni-didattiche-interattive www.progettosmilla.it/2/?page_id=28**

Kit didattico *L'Antartide e i segreti del clima*: materiali prodotti da una docente americana partecipante ad Arise, completamente tradotti in italiano. **www.progettosmilla.it/flex**

Anno polare internazionale Sito web dell'iniziativa, svoltasi tra il 2007 e il 2008. **http://ipy.arcticportal.org**

MyMathLab: la piattaforma online per insegnare e apprendere la matematica

ALBERTO ZORNETTA / SHUTTERSTOCK

Con la nuova piattaforma digitale di Pearson, gli studenti possono allenarsi individualmente con migliaia di esercizi ed essere aiutati e corretti in tempo reale, mentre gli insegnanti verificano quotidianamente il livello di apprendimento della classe e di ogni singolo studente.

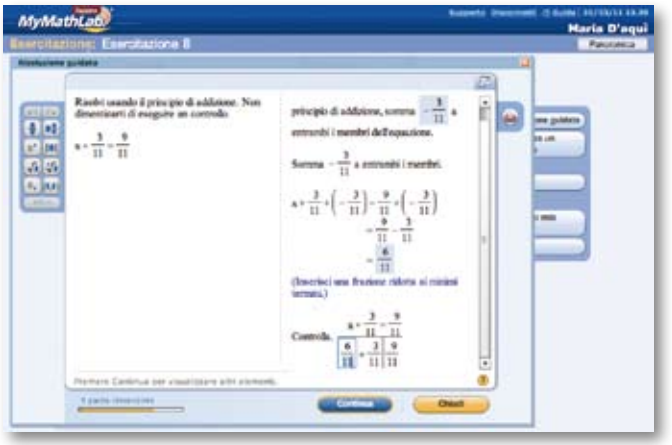
Nelle classifiche Ocse-Pisa 2009 l'Italia risulta trentacinquesima su 74 paesi partecipanti alla rilevazione per quanto riguarda la matematica, con punteggi significativamente sotto la media. Esistono inoltre importanti differenze tra i livelli di *literacy* matematica raggiunti nelle varie aree geografiche italiane e nei diversi ordini di scuola. L'Italia settentrionale si colloca sopra la media nazionale e la media Ocse, il Centro rientra nella media italiana ma risulta sotto la media Ocse, e il Sud e le isole si collocano sotto entrambe le medie, italiana e Ocse. Anche l'impatto dell'indirizzo di studio è importante: gli studenti dei licei sono al di sopra della media nazionale e della media Ocse, gli studenti degli istituti tecnici non si discostano dalla media nazionale ma sono al di sotto della media Ocse e gli studenti degli istituti professionali sono al di sotto di entrambe le medie.

Un nuovo strumento

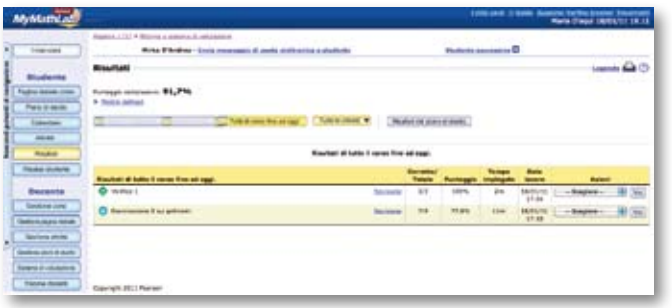
Queste classifiche segnalano un problema del nostro sistema formativo, rispetto al quale sono necessari nuovi strumenti e nuove strategie. Ogni insegnante di matematica sa bene quanto tempo occorra per assegnare esercizi, correggerli, preparare i recuperi, quanto sia difficile modulare l'insegnamento in base alle necessità di ciascuno studente e motivare chi ha maggiori difficoltà. In questo contesto si colloca un nuovo strumento proposto dall'editore Pearson: la piattaforma digitale MyMathLab, utile e importante per aiutare gli studenti ad acquisire le competenze matematiche richieste.
La piattaforma è stata ideata e sviluppata negli Stati Uniti ed è utilizzata oggi nel mondo da oltre 9 milioni di studenti, che con il suo aiuto hanno migliorato le proprie prestazioni del 20-30%. Dal 2011, questo strumento è disponibile anche per i docenti e per gli studenti italiani.

Aiuto elettronico

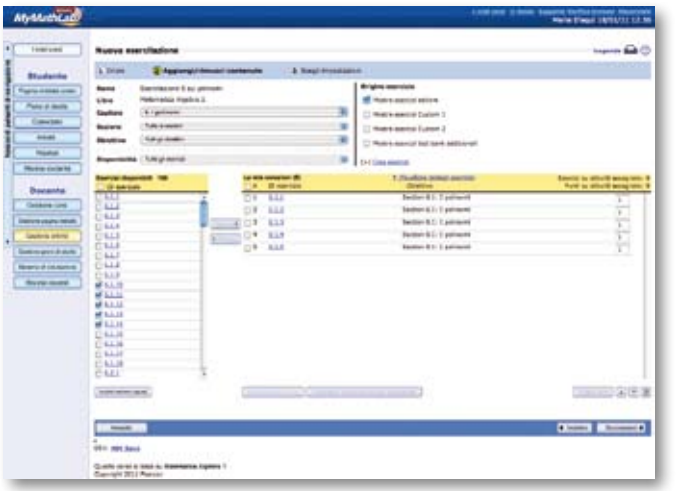
Attraverso la piattaforma, i docenti possono assegnare e correggere rapidamente gli esercizi, monitorare l'apprendimento e la preparazione degli studenti, personalizzare il lavoro per il recupero e per l'eccellenza. Il professore in classe assegna i compiti, mentre un "professore elettronico" segue lo studente a casa nella loro esecuzione, interviene se si commettono errori, magari suggerendo la regola di riferimento, fornisce aiuto e se si è proprio in difficoltà risolve l'esercizio mostrando tutti i passaggi. In pratica, affianca lo studente in tutto il suo percorso di lavoro a casa e lo aiuta a migliorare, scongiurando la famigerata "ansia da matematica" e fornendogli un ambiente di apprendimento stimolante e assistito.



Il tutor guida lo studente alla soluzione dell'esercizio assegnato.



L'insegnante verifica e misura quotidianamente l'andamento della classe e del singolo studente.



L'insegnante può creare esercitazioni e verifiche destinate alla classe o a gruppi di studenti per l'attività quotidiana o il recupero.

Una mano ai docenti...

MyMathLab si presenta come un programma online con due canali: lato docente e lato studente.
Il docente dispone di un indice di argomenti e delle relative esercitazioni (per i vari livelli delle scuole superiori), che può organizzare secondo il percorso che ritiene più opportuno: da notare che gli esercizi possono autogenerarsi di volta in volta, quindi sono virtualmente in numero illimitato. In ogni caso, comunque, il docente può modificare gli esercizi esistenti o inserirne di propri, oltre che fornire alla classe eventuali materiali digitali da lui preparati a supporto delle lezioni. E ancora: chi insegna può assegnare le attività, diverse e "personalizzate" per gruppi di studenti o anche per ogni singolo studente, definendo quali aiuti mettere a disposizione; può monitorare costantemente l'apprendimento, attraverso un registro elettronico che si aggiorna in automatico, può verificare non solo i risultati, ma anche il percorso compiuto da ciascuno studente nello svolgere l'esercizio, e può assegnare le attività di recupero. Esercitazioni e verifiche possono essere stampate, ed è inoltre possibile comunicare con gli studenti grazie alla bacheca.
Naturalmente, più classi contemporaneamente possono essere seguite e gestite con questo strumento. Che, di fatto, permette di ottenere un risultato straordinario: liberare tempo in classe per fare lezione, senza doversi preoccupare troppo dell'assegnazione e della correzione di esercizi.

... e una agli studenti

I vantaggi, però, non sono solo per chi insegna, ma anche per chi apprende.
Lo studente può affrontare gli esercizi in diversi modi, sfruttando gli aiuti che il docente ha impostato: può risolvere semplicemente l'esercizio oppure utilizzare il tutor che lo segue passo passo, dando indicazioni, fornendo esempi, richiamando la teoria necessaria.
Una caratteristica unica di MyMathLab è la possibilità di "scrivere la matematica". In genere, infatti, gli eserciziari interattivi consentono solo di scegliere tra risposte predefinite, mentre con MyMathLab gli esercizi si svolgono scrivendo in linguaggio matematico i singoli passaggi, fino a giungere alla soluzione.
Esattamente come si fa con carta e penna, ma con l'interattività e il tutoring come ausili aggiuntivi.

IN RETE!

Sul sito **www.mymathlab.it** nella sezione *Supporto* sono disponibili:
— il Servizio di assistenza multimediale;
— una raccolta di risposte a domande frequenti per gli insegnanti;
— una raccolta di risposte a domande frequenti per gli studenti.

TUULIUMALA / SHUTTERSTOCK

DARWIN AL **COMPUTER**

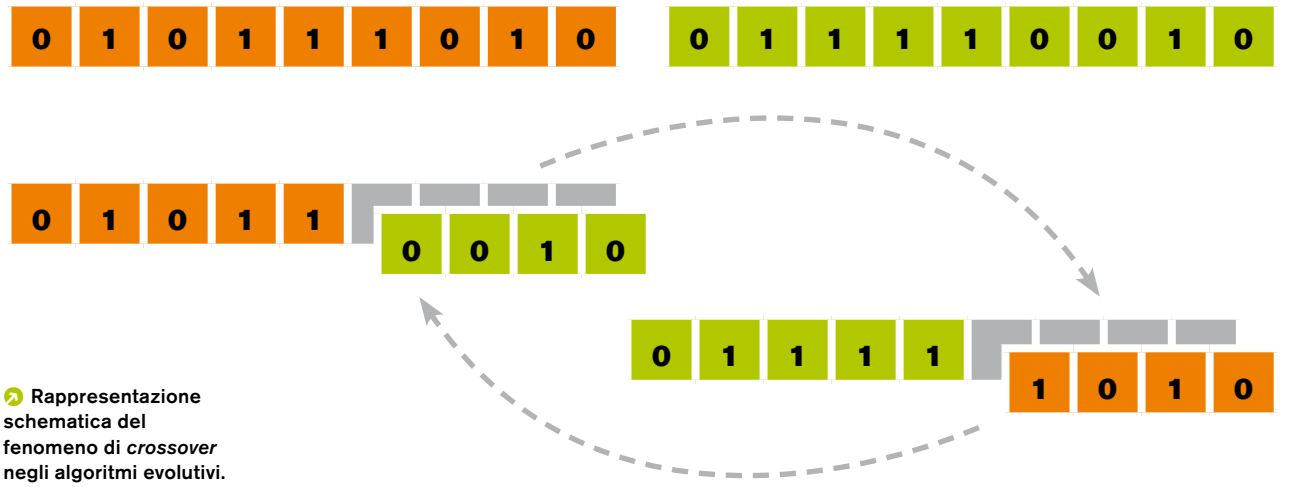
Per trovare soluzioni efficaci a problemi di progettazione, informatici e ingegneri copiano la natura, con gli algoritmi evolutivi. E parlare di lavatrici "intelligenti" può diventare un nuovo modo di introdurre l'evoluzione in classe.

MARCO FERRARI

Stadi a forma di nido d'uccello, aerei strutturati come libellule, robot simili a cani o gatti. L'imitazione delle forme naturali sembra particolarmente diffusa in questi ultimi anni. Ma una cosa è imitare la struttura esterna, un'altra l'intero meccanismo che ha portato a questi "modelli". Come sappiamo, la vita sulla Terra è stata plasmata da un processo semplice ma potentissimo: l'evoluzione per selezione naturale. Perché allora non riprodurre proprio la selezione naturale nell'attività più creativa della mente umana, cioè la progettazione? Perché, invece di rompersi la testa cercando la migliore soluzione possibile, non cedere il passo a funzioni casuali, e vedere che cosa accade? È quello che si fa con i cosiddetti algoritmi evolutivi (o genetici, un sottoinsieme che rappresenta la loro forma più semplice). Se andiamo a vedere di che cosa si tratta, scopriamo che veramente i programmatori e gli ingegneri hanno preso spunto dalla natura. Con molte somiglianze e alcune, importanti, differenze.

Una nuova proposta

Questo approccio è usato dagli informatici in determinate occasioni, in particolare quando si sa che una soluzione al problema è possibile, ma se ne conosce l'ambito (gli esperti lo chiamano *dominio*) con molta approssimazione. Il metodo normale – il cervello dell'ingegnere, diciamo così – in questi casi funziona male, per svariate ragioni che vanno dalla sua preparazione all'impossibilità di identificare con precisione il problema stesso. Se un ingegnere deve disegnare



Rappresentazione schematica del fenomeno di *crossover* negli algoritmi evolutivi.

un'automobile con un buon Cx (il coefficiente di resistenza aerodinamica), lo fa in base a sue conoscenze, allo stato dell'arte, alle necessità della casa automobilistica. Ma non sempre riesce a raggiungere il miglior compromesso tra peso, potenza e penetrazione nell'aria. Questa è una delle situazioni in cui possono entrare in azione gli algoritmi evolutivi. Che sono, molto in breve, procedure di ottimizzazione, che servono cioè a perfezionare un "qualcosa" che abbiamo già. Questo qualcosa può essere la struttura di un'auto, un'ala di aereo, il percorso di un autobus, il numero di arance in una cassetta o l'orario di una scuola. Ambiti amplissimi quindi, e curiosi quanto onnipresenti nella nostra vita. Che cosa propongono allora gli informatici? Di riprodurre l'evoluzione per selezione naturale all'interno di un computer. Come accade in natura, dove in una popolazione animale o vegetale numerosi individui competono per trasmettere i propri geni alle generazioni successive e quindi evolvono, così in un "ambiente" costruito all'interno di un computer numerosi algoritmi cercano di "dimostrare" di essere migliori. In questa dinamica evolutiva, il problema da risolvere corrisponde ai "problemi" (clima, competizione, predazione ecc.) che l'ambiente pone alle specie in evoluzione.

L'evoluzione nel mondo naturale...

Per quanto riguarda la natura, sappiamo abbastanza bene che cosa accade: l'evoluzione procede attraverso il meccanismo di mutazione/selezione, naturale o sessuale. Il primo passo è casuale, perché i cambiamenti che avvengono all'interno del complesso di geni di ogni organismo non hanno uno "scopo" finale e hanno luogo in punti assolutamente imprevedibili. In questo modo in una popolazione si creano organismi leggermente diversi l'uno dall'altro, che rispondono in maniera differente all'ambiente. Dal freddo, per esempio, ci si può difendere con una pelliccia più lunga e folta, o con uno strato di grasso, o addirittura migrando. Ognuna di queste "contromosse" è generata da una diversa combinazione di geni (mutati e meno), e l'accostamento migliore è quello che permette al possessore di sopravvivere e di riprodursi, trasmettendo il proprio corredo genetico alla generazione successiva. L'evoluzione è tutta qua; il caso fornisce a ogni individuo alcuni geni e l'ambiente seleziona, cioè blocca, gli individui con i geni "sbagliati", favorendo invece le combinazioni genetiche che consentono sopravvivenza e riproduzione. Il tutto si riduce però al "chi è meglio qui e ora", e le soluzioni della selezione naturale non sono affatto il meglio in assoluto, ma solo in quelle determinate circostanze.

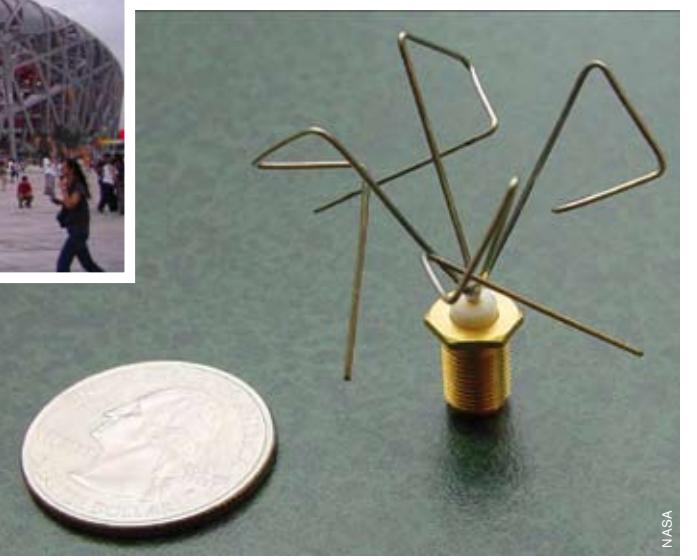
... e in quello virtuale

Vediamo adesso che cosa succede in quell'ambiente artificiale che è il computer. Per prima cosa c'è da notare la somiglianza (sconcertante) tra il linguaggio dei geni e quello dell'informatica: i primi infatti sono costituiti da *stringhe* (una parola presa a prestito dal linguaggio dei computer) di quattro "lettere", che a loro volta determinano la sequenza delle proteine. Nei computer il linguaggio usa solo due lettere (0 e 1) ed è la loro disposizione che stabilisce quello che fa la macchina. Utilizzando queste stringhe, l'informatico crea una popolazione di soluzioni a un problema, un compito, un obiettivo da raggiungere. Sono istruzioni (algoritmi) espresse all'inizio quasi a caso. Ogni algoritmo però, a differenza dei normali programmi che abbiamo nei computer di casa, è progettato anche per cambiare, e diventare ogni volta qualcosa di diverso, attraverso un meccanismo che gli stessi esperti chiamano *mutazione*. Questa avviene con una percentuale stabilita dall'operatore; abbastanza alta da poter dare origine a nuove soluzioni e abbastanza bassa da non stravolgere l'informazione presente nell'algoritmo. Ogni generazione, in questo modo, è leggermente diversa dalla precedente, e gli operatori umani possono controllare quale di questi "individui" meglio si comporti di fronte a un compito assegnato. E quindi quanto sia adattato all'ambiente, rappresentato dall'obiettivo. Questa grandezza, esattamente come in biologia, è definita *fitness*.

Una differenza importante

Nel computer gli informatici arrivano a scegliere come "riproduttori" per le generazioni successive gli algoritmi migliori, un po' come fanno gli allevatori con grano o mucche. La scelta può anche essere lasciata a regole interne del computer; per esempio «si effettuano *n* estrazioni indipendenti di un individuo, con probabilità direttamente

A sinistra, stadio a "nido d'uccello" di Pechino, realizzato per le Olimpiadi 2008: un esempio di mimesi di struttura naturale. In basso, antenna per lo studio della magnetosfera terrestre, realizzata con l'approccio degli algoritmi evolutivi.



proporzionale alla sua fitness per ogni individuo di essere estratto», come dice Andrea Tettamanzi, professore associato presso il Dipartimento di tecnologie dell'informazione dell'Università di Milano, in un testo divulgativo sull'argomento [1]. Ed ecco una differenza importante rispetto alla natura: l'obiettivo degli algoritmi è specificato in anticipo dal programmatore, che diventa una specie di deus ex machina e decide chi è meglio o peggio. Gli organismi naturali sono invece selezionati dalle "richieste" dell'ambiente (diverse tra l'altro di generazione in generazione), e non ci sono obiettivi da soddisfare, scopi predeterminati a cui tendere.

Sempre più vicini alla natura

Finora, però, abbiamo visto gli algoritmi evolutivi comportarsi come una popolazione di esseri asessuati, che si riproducono per gemmazione o altri metodi di trasmissione diretta. Spinti dai successi di questo approccio, i creatori dei primi algoritmi decisero che la metafora dell'evoluzione nei programmi poteva essere portata ancora più avanti. Permisero agli algoritmi di scambiarsi pezzi di "geni", cioè di stringhe con istruzioni, con un meccanismo definito *crossover*, una definizione molto simile al *crossing over* dei trattati di genetica (anche se il meccanismo è leggermente diverso). Scambiarsi "materiale genetico", cioè *ricombinare* le proprie istruzioni, non è altro che un metodo per aumentare ancora la variabilità, e quindi la probabilità di avere la combinazione "giusta"; proprio come avviene con il sesso tra maschi e femmine di animali e piante.
Le somiglianze non finiscono qui. Alcuni informatici hanno inserito anche un pizzico di ecologia nell'evoluzione degli algoritmi. Infatti distribuiscono le popolazioni in *isole*, spesso situate su computer diversi, in cui l'evoluzione procede come al solito e la valutazione della fitness è suddivisa nei singoli computer; le isole sono leggermente diverse l'una dall'altra, solo in base a fattori casuali. Una variante di questo modello prevede la migrazione di elementi da una sottopopolazione all'altra, allo scopo di introdurre diversità nelle isole e garantire una convergenza migliore verso l'obiettivo che devono soddisfare gli algoritmi; esattamente quello che avviene quando popolazioni parzialmente isolate di una specie stabiliscono un contatto attraverso corridoi ecologici o altri mezzi. C'è persino il tentativo di mantenere un'elevata biodiversità, "risparmiando" alcune delle soluzioni non buone per avere una popolazione più differenziata. Un altro paragone lo si potrebbe fare con i compromessi dell'evoluzione; se una determinata struttura deve essere utile per più scopi (le penne servono per volare, ma anche per riscaldarsi) non può avere una struttura ottimale ma, come dicono i biologi, è subottimale. Anche per gli algoritmi evolutivi accade lo stesso; sono soluzioni non perfette e specializzate, ma proprio per questo riescono a risolvere più di un problema e sono in grado di affrontare nuovi stimoli e nuove sfide senza che l'informatico riscriva ogni volta tutte le istruzioni.

Dalle lavatrici alla ricerca di informazioni

La selezione degli algoritmi migliori alla fine di ogni generazione fa sì che la soluzione si avvicini pian piano al passare del tempo. Come abbiamo visto, però, quello che si trova non è la soluzione "migliore" in assoluto, ma quanto ci sia di meglio in quella popolazione di algoritmi: per questo si parla di procedure di ottimizzazione. Gli algoritmi evolutivi si usano per esempio in problemi di pianificazione, per scegliere, cioè, la soluzione che abbia costo minore o prestazioni maggiori tra un insieme di soluzioni esistenti: la pianificazione delle

STORIA DI UN'IDEA

L'idea degli algoritmi evolutivi non è nuovissima, e risale agli anni cinquanta-sessanta del secolo scorso, quando, pur senza utilizzare il calcolatore, statistici e matematici erano arrivati al punto di riconoscere nella selezione naturale un processo di ottimizzazione. Non era però facile applicare idee così avanzate in un momento in cui la potenza computazionale era decisamente modesta. Il libro che ha iniziato la rivoluzione è *Adaption in Natural and Artificial Systems* di John Holland, pubblicato nel 1975. Anche il titolo sembra preso da uno dei libri della cosiddetta "nuova sintesi", l'integrazione della teoria di Darwin con la genetica, la statistica, la matematica e la paleontologia. Insieme a Holland, si impegnarono nella ricerca altri gruppi di lavoro, in particolare quello guidato da Lawrence Fogel, dell'Università della California a San Diego, che pose le basi della programmazione evolutiva e, in Europa, quello di Ingo Rechenberg del Politecnico di Berlino, che arrivò a strategie battezzate "evolutive". I filoni di ricerca proseguirono, con denominazioni diverse, per quasi tre decenni, fino a un congresso, intitolato *Parallel Problem Solving from Nature*, che si tenne nel 1990 a Dortmund. È quindi dagli anni novanta che gli esperti riconoscono nel grande ombrello della "computazione evolutiva" (*evolutionary computation*) un approccio differente e innovativo nel modo di affrontare i problemi.

rotte di una flotta di veicoli, come autobus o camion, il flusso della produzione di un impianto industriale, oppure la determinazione del carico ottimale di un mezzo di trasporto e gli orari di una scuola, fino alla gestione del traffico. Si usano anche per progettare circuiti elettronici o strutture ingegneristiche, come antenne per radio con caratteristiche determinate. Non solo: possono servire per predire la struttura di una proteina in base alla sua sequenza di nucleotidi o l'equilibrio di una reazione chimica e, nel mondo dell'informazione, possono dare una mano in quello che si chiama *data mining*, la ricerca cioè di informazioni nel *mare magnum* di Internet. Anche problemi finanziari sono stati affrontati così; agli algoritmi evolutivi è stato sottoposto il problema di come ottenere un portafoglio che abbia rischi di rendimento ottimali per un determinato cliente. Non è finita: in alcuni elettrodomestici casalinghi, per esempio lavatrici, possono essere presenti algoritmi genetici che decidono il programma migliore secondo le caratteristiche del bucato e del risultato da ottenere. Da un elettrodomestico a un robot il passo è breve, e alcuni di questi algoritmi, trasformati in programmi, possono anche essere inseriti in un macchinario (quasi) autonomo.

La fantasia al potere

In molti di questi casi, specie in ambito ingegneristico, non è insolito che gli algoritmi evolutivi riescano ad arrivare a soluzioni assolutamente originali e atipiche, che sorprendono gli stessi informatici, perché i vincoli loro posti, che non sono molto diversi dai limiti che l'ambiente pone anche alle specie in evoluzione, fanno sì che queste procedure cerchino di arrivare alla soluzione per strade che nessun ingegnere avrebbe mai pensato di usare, perché troppo strane, o perché a prima vista sembravano condurre a un vicolo cieco. Un esempio è la forma che alcuni algoritmi hanno "inventato" per un'antenna utilizzata dalla Nasa per studiare la magnetosfera terrestre. Questo apparecchio è in grado, con un ingombro minuscolo (2,5 x 2,5 cm) e una forma contorta, di amplificare il segnale ricevuto più di quanto possano fare le antenne comuni, e questo per moltissime bande dello spettro elettromagnetico. Come accade in natura, le soluzioni trovate da questi metodi sono a volte decisamente complicate, ma altrettanto efficienti.

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

MULTIMEDIA
www.linxedizioni.it

PAROLE CHIAVE

Algoritmo In matematica e informatica, una procedura stabilita per risolvere un problema.

Biodiversità L'insieme delle forme viventi presenti in un ambiente. Nel concetto ci sono tutti i livelli di diversità biologica, da quello intraspecifico (genetico) a quello ecosistemico.

Crossing over Meccanismo di ricombinazione del materiale genetico, durante una delle fasi della generazione di gameti. I cromosomi omologhi di origine materna e paterna si appaiano e si scambiano tratti di DNA.

Fitness Grandezza che misura il successo riproduttivo di un singolo individuo, di un insieme di geni o di un gene singolo.

Mutazione Cambiamento (stabile ed ereditabile) nella sequenza del DNA.

RISORSE

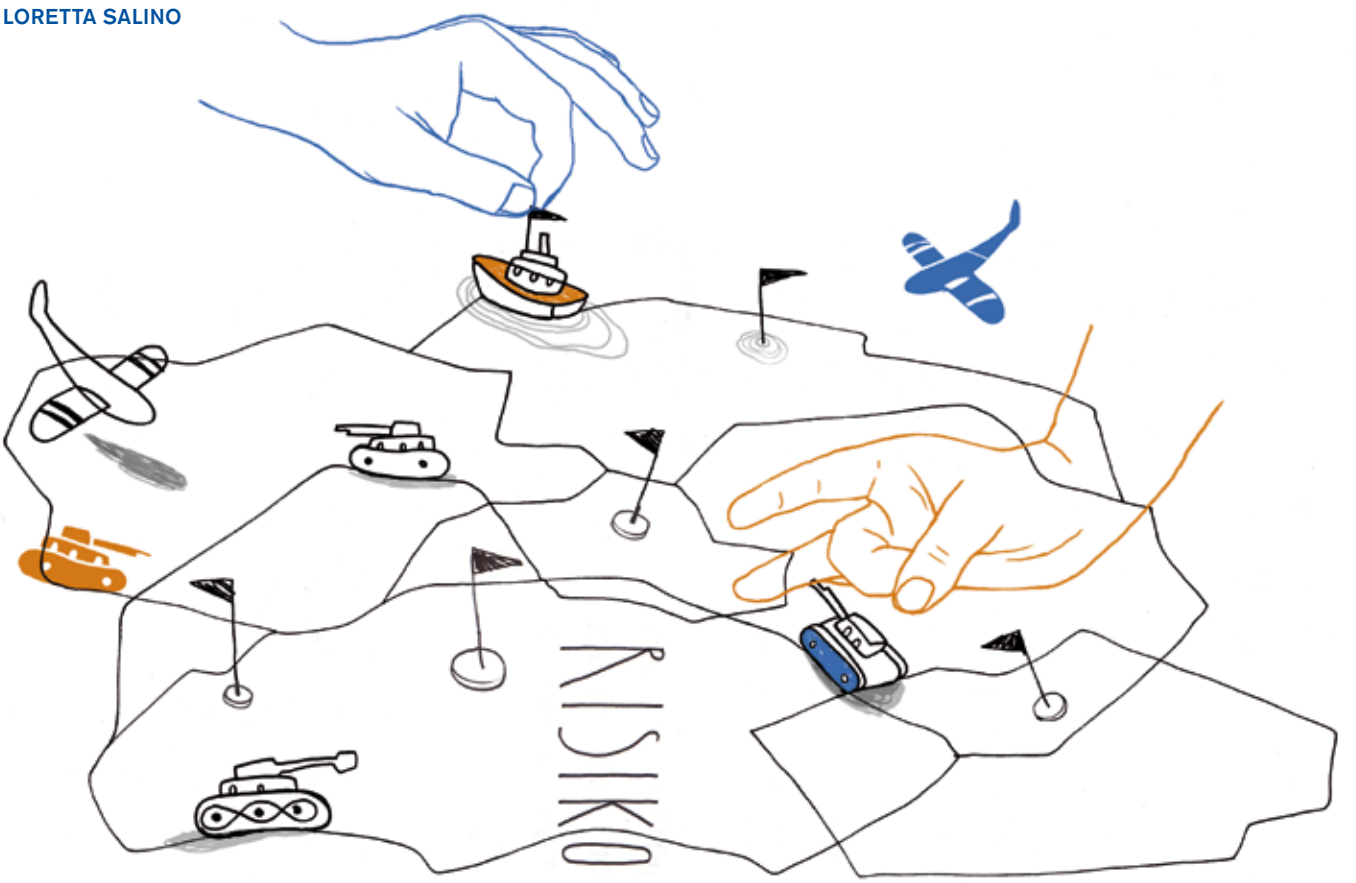
1 A.G.B. Tettamanzi, *Algoritmi evolutivi: concetti e applicazioni*, in "Mondo digitale", 2005, vol. 1. Scaricabile in pdf all'indirizzo **www.mondodigitale.net/Rivista/05_numero_due/def._Tettamanzi_p._3-17.pdf**

MARCO FERRARI
biologo e giornalista scientifico, è caposervizio scienze di "Focus". Ha collaborato come autore e consulente con numerose riviste di divulgazione naturalistica e scientifica, da "Oasis" a "Geo"; ha scritto e tradotto alcune decine di libri di divulgazione e lavorato come consulente per alcune enciclopedie di natura e geografia.

Matematica per **strategie ed equilibri**

Ovvero: dal dilemma del prigioniero all'*ordigno fine di mondo* con la teoria dei giochi.

LORETTA SALINO



Vi siete mai trovati nel bel mezzo di una partita a briscola senza la minima idea di quale carta giocare? Guardate i vostri avversari e cercate di intuire che cosa faranno, quali carte hanno in mano, rovistate nella vostra memoria in cerca di un segno... Forse, però, in casi come questi conviene non farsi prendere dal panico e analizzare la situazione in modo lucido, cercando di capire a quali vantaggi e a quali rischi possono portare le varie mosse possibili. Ecco che allora, senza saperlo, state "facendo matematica": e quando la matematica viene applicata a una situazione di questo tipo, essa prende il nome di *teoria dei giochi*.

La parola *gioco* in questo caso vuole indicare una situazione in cui due o più *giocatori* si trovano a dover interagire secondo determinate *regole* in prospettiva di un potenziale guadagno, il cui ammontare dipenderà dal decorso del gioco, e che ciascuno cercherà di rendere il più alto possibile. I domini di studio e applicazione di questa teoria sono i più diversi, dall'etologia all'economia: per esempio, nel caso di un mercato finanziario, i *broker* si comportano come giocatori che cercano di ottenere il maggior guadagno (economico) possibile adottando quelle che ritengono le strategie ottimali.

In generale lo studio della teoria dei giochi sviluppa la capacità di analisi in tutte le situazioni in cui ci sono da prendere decisioni e individuare strategie di comportamento: è quindi interessante dal punto di vista didattico perché fornisce all'individuo strumenti di ragionamento efficaci che possono supportarlo nei processi decisionali in cui può trovarsi coinvolto, a vari livelli, nel corso della vita.

In questo articolo partiremo dall'analisi di

un particolare gioco, trarremo spunto da questo per dare un'idea del concetto di *punto di equilibrio* e proveremo infine a dare un'interpretazione del conflitto della guerra fredda in termini matematici. Lasceremo da parte i formalismi superflui e proveremo a concentrarci sull'idea. Pertanto invitiamo il lettore a immedesimarsi di volta in volta in uno dei giocatori coinvolti negli esempi che faremo e a chiedersi "che cosa farei io al suo posto?", provando ad apprezzare come la teoria proposta può servire nel fare scelte e individuare strategie.

Il dilemma del prigioniero

La polizia arresta due criminali sospettati per una rapina in banca. I due vengono rinchiusi in due celle lontane, in modo che non possano comunicare, e a ciascuno viene offerta la possibilità di fare la spia sul compare. In cambio della soffiata viene promessa la libertà immediata e l'incarcerazione dell'altro per 10 anni.
Se però entrambi fanno la spia, vengono condannati a una pena ridotta di sei anni. Infine, se nessuno confessa entrambi scontano un anno di carcere.
Questo problema è noto come *dilemma del prigioniero* ed è un esempio di gioco non cooperativo, in cui cioè i partecipanti non hanno modo di collaborare.
La domanda interessante posta dal dilemma è: qual è la strategia ottimale da tenere per ciascun giocatore?
Prima di rispondere dobbiamo però fissare il concetto di *strategia ottimale*: per noi una strategia sarà tale nel momento in cui massimizza il guadagno ottenuto dal giocatore facendo tale scelta. In questo caso massimizzare il guadagno significa minimizzare la pena.
Supponiamo quindi di trovarci nei panni di uno dei due criminali (chiamiamoli A e B; i due sono perfettamente equivalenti quindi non ha importanza quale scegliamo).
Le situazioni possibili sono quattro: A e B confessano; A confessa ma non B; B confessa ma non A; A e B non confessano (Tabella 1).

Tabella 1

A ↓ B →	Confessa	Non confessa
Confessa	A: 6; B: 6	A: 0; B: 10
Non confessa	A: 10; B: 0	A: 1; B: 1

Guardiamo le cose dal punto di vista di A: nel caso in cui B confessi (prima colonna), si può avere che anche A confessa e prende 6 anni, oppure non confessa e ne prende 10. In questo caso ad A conviene confessare. Se invece B non confessa (seconda colonna), si può avere che A confessa e viene liberato oppure non confessa e sconta 1 anno. Anche in questo caso ad A conviene confessare.

ENE / SHUTTERSTOCK

In conclusione, la scelta migliore per A è confessare, a prescindere da quello che farà B. Dal punto di vista di B, la situazione è esattamente la stessa e quindi anche a lui conviene confessare, a prescindere dalla scelta di A.

Puntare al massimo guadagno

Una situazione come questa viene detta *punto di equilibrio*: una *scelta di strategie* per la quale tutti i giocatori massimizzano il proprio guadagno quando sono fissati i comportamenti di tutti gli altri.
Osserviamo che il punto di equilibrio che abbiamo individuato per il dilemma del prigioniero non porta al massimo guadagno "in assoluto" per i due giocatori. La situazione in cui nessuno dei due confessa porta sicuramente a un risultato migliore per entrambi (solo un anno di reclusione invece di sei) ma presenta un "rischio" più elevato: non sapendo come si comporterà l'altro, ciascun prigioniero ha paura a tacere perché dovrà scontare la pena massima nel caso in cui il compare decida di parlare. Vediamo allora come nei giochi "reali" la decisione effettiva presa da ciascun giocatore sia influenzata anche da fattori quali l'attitudine al rischio o l'aspettativa di vincita, fattori che potrebbero non far percepire il punto di equilibrio come scelta strategica ottimale.
Il dilemma si presta a impostare un'efficace attività didattica per introdurre in classe il tema della teoria dei giochi: basterà suddividere gli studenti in coppie, "simulare" la situazione descritta nel dilemma del prigioniero, poi confrontare le scelte prese dagli studenti con quella suggerita dalla discussione qui proposta. Successivamente si può riproporre l'attività a partire dalla versione "cooperativa" del dilemma del prigioniero, in cui cioè i giocatori sono autorizzati a mettersi d'accordo sul comportamento da tenere. Si vedrà che la scelta ottimale per entrambi sarà quella di non confessare: la possibilità di cooperazione cambia radicalmente la natura del gioco.

Un criterio di equilibrio

Vediamo ora un criterio che ci aiuti a stabilire se una determinata posizione è di equilibrio nel caso di giochi strutturati come il dilemma del prigioniero, cioè dove due giocatori effettuano in simultanea

PROVIAMO A FORMALIZZARE

Il dilemma del prigioniero può essere generalizzato e descritto in termini più astratti. Questo ci permette di applicare lo stesso tipo di ragionamento anche a giochi più complessi. Per farlo è necessario dare alcune definizioni, a partire da quella di gioco. Diremo che un *gioco* è una situazione in cui *n* giocatori intraprendono una serie di azioni (*mosse*) secondo determinate *regole*.
Ecco un esempio: due giocatori hanno in mano ciascuno una carta rossa e una nera. Il gioco consiste nello scoprire simultaneamente una carta; se le due carte sono dello stesso colore il giocatore A vince 1 €, se sono di colore diverso vince 1 € il giocatore B. Il gioco si conclude dopo 100 giri analoghi.
Una *strategia* è un "piano d'azione" consistente in un qualsiasi criterio per effettuare mosse secondo le regole. Data una scelta di strategie da parte di tutti i giocatori, il *payoff* di un giocatore è il numero che rappresenta il *guadagno* da lui ottenuto. Nelle nostre definizioni contempliamo anche strategie "miste", cioè del tipo "a ogni mossa gioca la carta rossa con probabilità un terzo e la carta nera con probabilità due terzi". Questo vuol dire che a ogni mossa si lancia un dado di nascosto: viene giocata la carta rossa quando esce 1 oppure 2 e la carta nera altrimenti.
Supponiamo ora che ognuno degli *n* giocatori abbia scelto una strategia da tenere nel corso del gioco; analizziamo la situazione dal punto di vista di un giocatore particolare e supponiamo che gli avversari non cambino la propria strategia. Poi consideriamo una per volta tutte le possibili strategie del giocatore in questione, calcoliamone il payoff e supponiamo di scoprire che il payoff della strategia iniziale sia il massimo. Se questo accade per ogni giocatore, diremo che la scelta iniziale di strategie è un *punto di equilibrio*. In altre parole, in un punto di equilibrio per nessuno è vantaggioso modificare la propria strategia "da solo".
Questa definizione generalizza il criterio di equilibrio che abbiamo descritto a proposito del dilemma del prigioniero e della guerra fredda. Nel caso del gioco delle carte dell'esempio sopra, un punto di equilibrio è quello in cui ogni giocatore attribuisce una probabilità del 50% sia alla carta rossa sia alla carta nera.
Ma esiste sempre un punto di equilibrio? Per rispondere a questa domanda occorre chiamare in causa John Nash, insignito del premio Nobel per l'economia nel 1994 proprio per i suoi studi nel campo della teoria dei giochi. Il teorema di Nash afferma che *in un gioco c'è sempre almeno una scelta di strategie da parte dei giocatori che costituisce un punto di equilibrio*. Per la validità del teorema, è cruciale il fatto che la sequenza di mosse da effettuare possa venir stabilita per mezzo di valori di probabilità anziché in maniera deterministica (si parla allora di strategia "mista" invece che di strategia "pura").

una sola mossa a scelta tra due. Un gioco di questo tipo è schematizzabile con la matrice di due righe e due colonne riportata nella Tabella 2, in cui le lettere minuscole rappresentano i valori del guadagno.

Tabella 2

A ↓ B →	Scelta 1	Scelta 2
Scelta 1	A: a_{11}; B: b_{11}	A: a_{12}; B: b_{12}
Scelta 2	A: a_{21}; B: b_{21}	A: a_{22}; B: b_{22}

A titolo di esempio, supponiamo di voler stabilire se la combinazione "A compie la Scelta 1, B compie la Scelta 2" (in azzurro) è una posizione di equilibrio. Se vale $a_{22} \leq a_{12}$ e $b_{11} \leq b_{12}$, la posizione segnalata risulta di equilibrio, mentre non lo è se le due condizioni non sono entrambe verificate.
In altre parole: il guadagno di A non aumenta se questi cambia la propria scelta e B invece la conferma (corrisponde alla condizione $a_{22} \leq a_{12}$); il guadagno di B non aumenta se questi cambia la propria scelta e A invece la conferma (corrisponde alla condizione $b_{11} \leq b_{12}$).
In generale, immaginiamo di segnare la posizione da esaminare con una pedina: la posizione di equilibrio è quella per cui il guadagno di A deve rimanere invariato oppure diminuire quando la spostiamo in verticale, mentre il guadagno di B deve rimanere invariato oppure diminuire quando la spostiamo in orizzontale.

Un caso storico

La situazione appena descritta può servire per schematizzare un caso storico: la guerra fredda.
Per farlo saremo costretti a semplificare la storia e a trascurare la complessità politica che caratterizzò lo scenario mondiale di quegli anni. D'altra parte crediamo che la guerra fredda possa costituire il punto di partenza di un'interessante riflessione sul comportamento che può essere tenuto in situazioni di "gioco". Crediamo altresì che questo approccio possa servire a gettare una nuova luce su un tema che viene generalmente affrontato in altro modo e potrebbe costituire la base per la costruzione di un percorso multidisciplinare. Il conflitto della guerra fredda si può *modellare* per mezzo del dilemma del prigioniero. Abbiamo due potenze militari A e B che hanno la possibilità di investire ingenti somme di denaro in armi. Se entrambe decidono di non investire, il guadagno ottenuto dal punto di vista militare sarà zero sia per A sia per B. Anche nel caso in cui entrambe investano il guadagno sarà zero, perché nessuna delle due otterrebbe un vantaggio relativo dal punto di vista militare. Nella situazione in cui A investe e B non lo fa, il guadagno per A sarà positivo (perché avrà un vantaggio militare), mentre per B negativo. Quantificheremo questi guadagni con numeri arbitrari, +10 e –10; nella situazione simmetrica i guadagni sono invertiti.
Possiamo schematizzare la situazione come nella Tabella 3.

Tabella 3

A ↓ B →	Investe	Non investe
Investe	A: 0; B: 0	A: +10; B: -10
Non investe	A: -10; B: +10	A: 0; B: 0

«La deterrenza è l'arte di creare nell'animo dell'eventuale nemico il terrore di attaccare, ed è proprio a causa dei congegni che determinano la decisione automatica e irreversibile escludendo ogni indebita interferenza umana che l'ordigno fine del mondo è terrorizzante, è di facile comprensione, è assolutamente credibile e convincente» *Il Dottor Stranamore*

Come nel caso del dilemma del prigioniero, si ha un punto di equilibrio quando sia A sia B investono in armi e questa è esattamente la situazione verificatasi. Osserviamo che la situazione in cui nessuna delle due potenze investe non è di equilibrio. Vediamo infatti che, dalla posizione in cui entrambi non investono, se A sposta la sua scelta e B no – cioè se A decide di investire mentre B non lo fa – A aumenta il suo guadagno. Utilizzando il criterio descritto sopra concludiamo che questa non è una posizione di equilibrio. Osserviamo che questo modello è in realtà applicabile a qualsiasi situazione in cui due potenze militari si sentono minacciate l'una dall'altra: anche la costruzione di mura difensive attorno alle città medioevali può venir vista in questi termini. Che cos'è, allora, che rende unica la situazione della guerra fredda?
Dal punto di vista storico, sicuramente, il conflitto deve la sua unicità alla presenza di armi atomiche che minacciavano l'intero pianeta. Ma in che modo questo elemento influisce sul gioco?

"Giocare" con l'atomica

Proviamo a "prolungarlo" e a rimodellarlo a partire dalla situazione di equilibrio che abbiamo individuato: entrambe le potenze hanno arsenali nucleari costruiti in seguito agli investimenti.
Adesso le mosse possibili sono: attaccare l'avversario oppure non attaccarlo. Se entrambe le potenze decidono (in maniera indipendente) di attaccare, si ha un risultato pari alla distruzione di entrambe. Se una delle due decide di attaccare, allora l'altra – che ha armi a disposizione e la possibilità di attuare una rappresaglia – attaccherà di conseguenza e con la stessa forza, per cui anche in questo caso si avrà lo stesso risultato (distruzione di entrambe). Se infine entrambe decidono di non attaccare, il risultato sarà zero perché la situazione rimarrà invariata (Tabella 4).

Tabella 4

A ↓ B →	Attacca	Non attacca
Attacca	A e B: distruzione	A e B: distruzione
Non attacca	A e B: distruzione	A: 0; B: 0

In questo caso abbiamo due situazioni di equilibrio: quella in cui entrambe attaccano e quella in cui nessuna delle due attacca. Sappiamo dalla storia che si è verificata solo la seconda situazione. Questo perché, benché entrambe fossero di equilibrio, le due situazioni non erano equivalenti rispetto alle conseguenze reali che avrebbero comportato. La scelta della prima possibilità, infatti, avrebbe portato sicuramente a conseguenze devastanti per entrambe le nazioni coinvolte.
Per una mirabile e surreale descrizione di quest'ultimo scenario, rimandiamo al celebre film *Il Dottor Stranamore* di Stanley Kubrick, in cui la follia di un generale invasato porta allo scontro le due superpotenze in conflitto e apre all'idea di un ordigno incontrollabile e devastante, l'*ordigno fine di mondo.* Buona visione.

MULTIMEDIA
www.linxedizioni.it

LORETTA SALINO
è lo pseudonimo di un gruppo di matematici, ex studenti della Scuola Normale di Pisa, che unisce esperienze nel campo dell'editoria digitale, della didattica e della ricerca pura.

BIODIVERSITÀ NEL LAZIO **DIAMO I NUMERI!**

ANDREAS TREPTE / WIKIMEDIA COMMONS

Quello della conservazione è un imperativo ambientale fondamentale dei nostri tempi. Ma non c'è conservazione senza conoscenza. In questo articolo, un quadro dettagliato di una regione che è un grande serbatoio di biodiversità del nostro paese.

PIERANGELO CRUCITTI

Roma. La parola evoca subito l'immagine di monumenti, dai resti imperiali alle chiese barocche alle opere dell'architettura razionalista, non certo immagini di fauna e flora. Al più si pensa a qualche uccello (storni dai voli quasi ipnotici o gabbiani, ormai quasi infestanti) e al solito mammifero preso come esempio di fauna urbana, il surmolotto o ratto delle chiaviche, o agli ospiti di bioparchi e orti botanici. E invece sarebbe proprio il caso di osservare la situazione più da vicino, per rendersi conto che, come dice chi si occupa di biodiversità urbana, «a Roma c'è di tutto». Prendiamo gli insetti. Dal 1850 al 2000 è stata rilevata nell'area urbana delimitata dal grande raccordo anulare, estesa per 360 km^2, la presenza di ben 5151 specie di insetti appartenenti a 358 famiglie di 26 ordini: valori impressionanti, se consideriamo che attualmente sono classificati, in tutto il mondo, "solo" 31 ordini. A Roma troviamo il 74% delle specie di odonati (libellule) presenti nel Lazio, il 16,3% delle specie italiane di ortotteroidi (blatte, mantidi, termiti, cavallette, grilli, insetti stecco e forbicine), il 29% di eterotteri (cimici e affini), il 24,5% di omotteri auchenorrinchi (cicale e cocciniglie), il 24% di coleotteri carabidi (cicindele e carabi). Per non parlare delle 130 specie di scarabei e affini o delle oltre 500 specie di farfalle e falene. Niente di più infondato, dunque, che pensare alla capitale come a un deserto

BENNY TRAPP / WIKIMEDIA COMMONS

ALMA / WIKIMEDIA COMMONS

NASA

Alcuni esempi di fauna del Lazio. Da sinistra a destra: un cervo, uno zigolo giallo, un colubro (*Coronella girondica*), un riccio e un tursiope.

con bassissima "ricchezza di specie". E quello che vale per Roma vale ancora di più per la regione a cui appartiene, il Lazio. Viaggiare nel Lazio offre al visitatore svariate occasioni per riflettere sulla storia naturale della regione e d'altronde molte guide comunali hanno da tempo inserito, tra le valenze dei loro territori, anche aspetti rilevanti del paesaggio geologico e vegetale, della flora e della fauna. Vediamone insieme alcuni.

Un contesto geologicamente complesso

L'elevata complessità ambientale del Lazio emerge dall'esame del clima, della litologia e della morfologia (orografia e idrografia) della regione. La porzione nord-occidentale è movimentata dall'alternarsi di calcari e calanchi argillosi, con suoli fertili ricoperti dai prodotti di eruzioni vulcaniche più o meno antiche. Gran parte del Lazio meridionale e del Lazio appenninico centrale e sud-orientale, invece, è coperta da sedimenti carbonatici di origine marina. Tra i fenomeni correlati è sufficiente ricordare l'estensione del carsismo superficiale e profondo: sono state censite circa 1450 grotte, per un totale complessivo di 100 km di condotte, gallerie, meandri, pozzi e sifoni sotterranei. Tra questi c'è il *sinkhole* più profondo del mondo, il Pozzo del Merro nel territorio del Comune di Sant'Angelo Romano: a livello locale è quasi sconosciuto, mentre è famoso in Messico, dove è citato a confronto con la seconda cavità di sprofondamento del mondo, El Zacaton.

Varietà di climi e di vegetazione

L'articolata morfologia della regione e la presenza di montagne prossime al mare generano una notevole varietà di tipi climatici, di cui la vegetazione è un "riflesso" evidente. Le piante sono infatti in larga misura immobili e quindi legate, per gran parte del loro ciclo biologico, a un determinato tipo di suolo; quest'ultimo è pure condizionato dal clima locale, dal substrato litologico (tipo di roccia) e dalla fauna, in particolare di piccole e medie dimensioni.
Condizioni bioclimatiche e struttura della vegetazione consentono di suddividere il Lazio in quattro grandi paesaggi fondamentali. La *regione mediterranea*, tipica dell'Agro Pontino, è caratterizzata da morfologia pianeggiante e dalla presenza di laghi costieri, dune pleistoceniche e aree di bonifica con depositi fluvio-lacustri e sabbie marine; la vegetazione forestale prevalente è costituita da boschi di querce (cerrete, boschi di sughera, querceti misti, leccete) e macchia mediterranea. La *regione mediterranea di transizione*, tipica della Maremma laziale interna e della Campagna romana, presenta soprattutto rilievi collinari e forre; la vegetazione forestale prevalente include cerrete e querceti misti di roverella e cerro con elementi del bosco di leccio e di sughera. La *regione temperata di transizione*, tipica della valle del Tevere tra Orte e Monterotondo, è caratterizzata da pianure e deboli rilievi collinari, dai depositi alluvionali del fiume ai terreni vulcanici a piroclastiti; la vegetazione forestale include querceti a roverella e cerro con elementi della flora mediterranea e una vegetazione igrofila con salici, pioppi e ontani. Infine, la *regione temperata*, tipica delle alte vette dei rilievi appenninici, come il monte Terminillo e il monte Meta, è caratterizzata da fondivalle dolci su calcari, displuvi arrotondati e valli incise su arenarie con substrati a calcari dolomitici, calcareniti e arenarie torbiditiche; la vegetazione forestale include faggeti e arbusteti dell'orizzonte alto-montano e subalpino (agrifoglio e ginepro nano).

La ricchezza della flora...

Tra gli elementi più caratteristici del paesaggio naturale figurano le piante vascolari (pteridofite, angiosperme e gimnosperme). Nel solo Lazio è stato censito un numero di piante vascolari superiore a quello dell'intera Gran Bretagna: ben 3041 specie di 926 generi e 174 famiglie. Le entità endemiche sono 164 (per esempio *Santolina etrusca* e *Orchis aurunca*), mentre un dato preoccupante è costituito dalla presenza di 317 entità aliene (come *Ailanthus altissima*, *Agave americana*, *Robinia*

AL LAVORO PER LA BIODIVERSITÀ

Nel Lazio si concentrano numerose strutture che operano in diversi contesti della biodiversità regionale. Oltre all'attività di ricerca, per esempio, Sapienza Università di Roma pubblica le riviste *Annali di Botanica* e *Fragmenta entomologica*, mentre Roma Tor Vergata coordina il progetto *Osservatorio sulla biodiversità del Lazio* e Roma Tre ha promosso la realizzazione di vari atlanti sull'erpetofauna. L'Università della Tuscia a Viterbo, invece, collabora con la Società botanica italiana ai fini della stesura della *Flora tassonomica critica d'Italia*. RomaNatura è l'ente regionale che gestisce i vincoli di legge sul sistema delle aree naturali protette nel Comune di Roma. Il Wwf Italia è presente sul territorio regionale con gruppi di lavoro su progetti specifici, oasi e centinaia di volontari. Il Servizio Ambiente della Provincia di Roma ha pubblicato monografie sul sistema delle aree protette della provincia. Il Museo civico di zoologia di Roma possiede collezioni che ammontano a vari milioni di esemplari incluse quelle, ricchissime e storiche, della fauna della campagna romana. Infine, la Società romana di scienze naturali (Srsn), che gestisce il Fondo bibliografico naturalistico del Lazio, costituisce un polo di eccellenza per l'attenzione ai problemi della biodiversità animale del Lazio e dell'Appennino Centrale.

AREE IMPORTANTI PER LE PIANTE

La flora del Lazio è minacciata prevalentemente dalla alterazione e dalla distruzione degli habitat naturali, di norma sostituiti da agroecosistemi o dalla diversa destinazione dell'uso del suolo (edilizia urbana, impianti industriali). Definire strategie di protezione delle aree più importanti per la diversità vegetale è obiettivo del programma Important Plant Areas (Ipa), promosso da PlantLife Internazional in collaborazione con Planta Europa. Un'*area importante per le piante* è tecnicamente definita come un'area naturale o seminaturale che dimostri di possedere un'eccezionale diversità botanica e/o ospiti popolazioni di specie rare, minacciate e/o endemiche e/o tipi di vegetazione di alto valore botanico. Nel Lazio sono state finora individuate 26 Ipa, che coprono il 13% del territorio regionale. Tra le flore "minori" incluse in alcune Ipa, ricordiamo i licheni della Tenuta di Castel Porziano, le rare specie fungine dei boschi misti del Monte Rufeno, le associazioni di briofite delle faggete del Monte Terminillo, le microalghe rosse della Caldera di Manziana (Monti della Tolfa) nonché le cianoficee della Grotta dell'Inferniglio (Monti Simbruini - Ernici).

PIERANGELO CRUCITTI
è presidente della Società romana di scienze naturali - ente di ricerca pura - ed è autore o co-autore di 145 pubblicazioni a stampa di cui oltre 20 su riviste internazionali.

pseudacacia, vari *Eucalyptus*).
È difficile pensare che manchino all'appello molte specie. Abbiamo già osservato che le piante sono sessili, pertanto relativamente facili da censire: è improbabile che specie nuove per la scienza siano sfuggite a oltre due secoli di intense raccolte sul campo. Quella che è ancora lacunosa, però, è la precisa distribuzione di molte specie, poiché esistono aree poco o punto esplorate. La superficie occupata dalle "aree con conoscenza generica appena informativa" e dalle "aree pressoché sconosciute" rappresenta infatti circa 1/6 del territorio della regione. In modo abbastanza sorprendente, troviamo tra le aree poco conosciute la valle del Tevere a Nord di Roma e la valle del Sacco, mentre molti settori montuosi sono piuttosto ben conosciuti.
E a Roma? In città, la flora comprende ben 591 generi di 131 famiglie. Circa 1/5 della flora italiana è rappresentato da specie presenti anche nella capitale.

... e quella della fauna

Le dimensioni del popolamento faunistico del Lazio sono impressionanti: ben il 40-50% delle specie della fauna italiana si trovano in questa regione. Per esempio si contano 455 specie di imenotteri apoidei (il 48,2% di quelle italiane), 89 specie di imenotteri formicidi (38,9%), 524 specie di coleotteri carabidi (41,9%), 89 specie di lepidotteri diurni (58,7%). E ancora: su 726 specie di molluschi terrestri e d'acqua dolce italiani, risultano sinora campionate nel Lazio 247 specie. Passando ai pesci, un elenco tassonomico delle acque interne enumera 61 specie, di cui 31 nostrane. Il dato drammatico è quindi costituito dalla presenza di 30 specie introdotte, di cui otto provenienti da varie regioni italiane e 22 esotiche. Due di esse, la pseudorasbora e il siluro, costituiscono un pericolo per la fauna ittica nostrana, considerato che la prima si nutre di uova e larve di pesci mentre il secondo è un divoratore instancabile di grandi pesci.
Si contano meno "intrusi" tra anfibi e rettili, con 35 specie autoctone "contro" 5 alloctone; la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) e quattro testuggini (le specie mediterranee *Testudo graeca* e *T. marginata*, una specie d'acqua dolce del genere *Mauremys* e la specie americana *Trachemys scripta*). Dieci sono le specie di serpenti del Lazio: una per ciascuno dei generi *Hierophis* ed *Elaphe*; due per ciascuno dei generi *Coronella*, *Natrix* e *Vipera*; infine due specie di *Zamenis* di cui una osservata solo recentemente nel territorio della regione. Il territorio provinciale di Roma è particolarmente ricco di rettili e anfibi; del resto, laghetti e fontanili delle ville patrizie oltre agli affluenti e subaffluenti di Tevere e Aniene entro la città costituiscono ambienti ottimali per la loro riproduzione. Non tutti però se la passano bene: tra gli anfibi una specie particolarmente minacciata è l'ululone appenninico *Bombina pachypus*, mentre tra i rettili possiamo citare i serpenti *Coronella girondica* e *Vipera*

YVON52 / SHUTTERSTOCK

KARIN JAEHNE / SHUTTERSTOCK

DEREK RAMSEY / WIKIMEDIA COMMONS

Alcune specie alloctone di anfibi che si possono trovare nel Lazio. Da sinistra: testuggine greca, tartaruga palustre americana (*Trachemys scripta*) e rana toro.

PER APPROFONDIRE

— Vedi scheda sul sito
http://magazine.linxedizioni.it

ursinii. Una valutazione accurata dello status dell'avifauna viene da una checklist sugli uccelli del Lazio pubblicata nel 2010, in base alla quale risultano 397 specie, inquadrate in 20 ordini e 67 famiglie. Tra i generi più rappresentati ricordiamo *Sylvia* (occhiocotto, sterpazzolina), *Emberiza* (varie specie di zigoli), *Falco* (pellegrino, lanario, lodolaio), *Calidris* (piovanello comune), *Larus* (gabbiano comune), *Acrocephalus* (cannaiola, forapaglie) e *Turdus* (merli). Nell'area del Comune di Roma compresa entro il grande raccordo anulare è stata censita la presenza, tra il 1989 e il 1993, di 75 specie di uccelli nidificanti.
Infine i mammiferi. Le indagini del progetto *Atlante dei mammiferi* della Provincia di Roma hanno accertato la presenza di 65 specie (cetacei esclusi), segnalate con regolarità nel periodo 1991-2010, di cui: 56 autoctone, una reintrodotta (cervo), sette di origine alloctona (come il ratto nero e il topo domestico) e una alloctona dubbia (coniglio selvatico); a queste potrebbe essere aggiunto il tursiope (*Tursiops truncatus*), il cetaceo più significativo del litorale romano. Tra i mammiferi del Lazio ricordiamo ricci, talpe, toporagni, pipistrelli, lepri, ratti, arvicole, orsi, lupi, volpi, tassi, cinghiali, cervi. L'ordine dei chirotteri mostra un rilevante interesse conservazionistico, con il maggior numero di specie minacciate.

Un patrimonio da proteggere

Il Lazio, dunque, si presenta come un territorio straordinariamente ricco non solo di monumenti e tradizioni, ma anche di flora e fauna. Tanta ricchezza, però, va protetta se vogliamo che continui a essere tale anche per le generazioni future. Apparentemente, la situazione sembra buona: la Carta delle aree protette e della Rete Natura 2000 (SIC - ZPS) del Lazio, pubblicata dalla Regione nel 2007 enumera sul territorio tre parchi nazionali (di cui due trans regionali), tre riserve naturali statali, due aree naturali marine, 15 parchi naturali regionali, due parchi regionali urbani, 29 riserve naturali regionali, 16 monumenti naturali, oltre a 42 ZPS (zone di protezione speciale) e 183 SIC (siti di interesse comunitario). In tutto, la superficie protetta è oggi pari al 30% circa, ma questo non giustifica troppi ottimismi. Tanto per cominciare, non è affatto scontata una gestione rigorosa - e dunque una conservazione rigorosa - delle aree protette, persino quelle di "rango" elevato come i parchi nazionali e regionali. Il bracconaggio, per esempio, resta una piaga difficile da debellare. Inoltre, il restante 70% del territorio non può essere trascurato o abbandonato all'agricoltura intensiva o alla speculazione edilizia. È dunque necessario, per il futuro, puntare a incrementare l'estensione dell'area protetta e a conservare e valorizzare l'esistente. Per conservare adeguatamente, però, è necessario conoscere, il che richiede investimenti adeguati (non di mera sopravvivenza) e una partecipazione consapevole di tutte le forze in campo: cittadini, referenti politici, enti pubblici o privati preposti al controllo e alla ricerca.

MULTIMEDIA
www.linxedizioni.it

RICERCA E NON SOLO

Dopo la laurea, percorsi a confronto

Scienze della produzione animale

EMILIANO LASAGNA
È ricercatore universitario confermato per il settore di zootecnica generale e miglioramento genetico presso l'Università di Perugia. Ha 36 anni e vive a Corciano (Perugia).

PAOLA FABBRI
Ha 33 anni ed è responsabile di pianificazione, sviluppo e qualità di prodotti alimentari, in particolare carni, per una catena di ipermercati della grande distribuzione organizzata (gdo). Vive a Senago (Mi).

Qual è stato il tuo percorso di studi?

Liceo scientifico a Perugia, laurea in scienze della produzione animale sempre a Perugia e dottorato di ricerca in conservazione, gestione e miglioramento delle risorse genetiche animali all'Università di Padova.

Liceo scientifico a Garbagnate milanese, laurea in scienze e tecnologie della produzione animale all'Università statale di Milano e master per responsabili di qualità nell'industria agroalimentare svolto a Brescia.

Quando e perché hai scelto scienze della produzione animale?

All'ultimo anno delle superiori. Ero interessato alle scienze agrarie e alla gestione degli animali da reddito, così ho partecipato a una giornata di orientamento della facoltà: alla presentazione di scienze della produzione animale è stato amore a prima vista.

Ho sempre avuto un grande interesse per i cavalli e volevo un percorso di studi che mi permettesse di lavorare con questi animali, per esempio in allevamenti, ma che non fosse troppo clinico.

Sei soddisfatto della tua scelta?

Sì, la rifarei. All'università ho apprezzato il fatto che il corso di laurea fosse gestito con un approccio interfacoltà tra agraria e veterinaria: era molto stimolante.

Sì, perché mi ha permesso di raggiungere il mio obiettivo che, a partire dal secondo anno di università, quando mi sono appassionata all'ispezione di carni, è stato lavorare per la gdo. Ritengo che la formazione ricevuta sia stata valida e l'ambiente universitario stimolante.

C'è un libro che ritieni importante nella tua formazione? Perché?

Più che un libro, reputo importante il rapporto con diversi docenti universitari, che mi hanno dato davvero molto, non solo per la formazione: con alcuni di loro sono riuscito a instaurare e mantenere un rapporto di amicizia.

Tutti i libri di testo sono stati importanti, ma in generale direi che la formazione non la fanno solo i libri. Ci sono altri aspetti fondamentali, come gli incontri con persone dinamiche e preparate.

Qual è stato il tuo primo lavoro?

Appena laureato ho avuto dalla facoltà un contratto come coordinatore del tirocinio per gli studenti, che consisteva in una serie di visite guidate in aziende. Allo stesso tempo lavoravo come tecnico in Confagricoltura regionale, un sindacato di settore.

Il tirocinio di laurea, che ho svolto presso uno stabilimento industriale di trasformazione della carne di Varese. Mi occupavo di confezionamento di prodotti trasformati a base di carne e di analisi di laboratorio.

Oggi di che cosa ti occupi?

Di miglioramento genetico di bovini e ovini da carne. Si tratta di selezionare, per esempio in base a marcatori molecolari, gli animali più adatti per migliorare le produzioni in termini quantitativi e qualitativi. Un progetto di ricerca riguarda la razza bovina marchigiana: abbiamo individuato animali con una mutazione spontanea che provoca ipertrofia muscolare.

Seguo lo sviluppo e la pianificazione di prodotti di carne sia freschi, sia trasformati (come hamburger), sia pronti per il consumo (cotolette impanate già cotte). Definisco gli standard dei prodotti, valuto i fornitori, mi occupo delle etichette e di questioni legali (per esempio contestazioni di clienti).

Quali sono i tuoi strumenti quotidiani di lavoro?

Il pc, la posta elettronica, Internet. E poi gli strumenti che si possono trovare in un laboratorio di biologia molecolare e anche in una stalla: si parte da lì.

Lavoro consultando documenti e dialogando con persone. Devo tener presente le consulenze di centri di ricerca e di laboratori per gli aspetti zootecnici o le analisi microbiologiche, le richieste delle Asl e del Ministero della salute, gli aggiornamenti normativi e così via.

Che cosa ti piace di più del tuo lavoro di oggi, e che cosa di meno?

Mi piace molto il rapporto con gli studenti. Mi pesa l'enorme quantità di burocrazia che dobbiamo sbrigare: ne siamo letteralmente sommersi.

Mi piace molto il contatto continuo con la gente su tutta la filiera produttiva, dagli allevatori ai tecnici del Ministero. Ciascuno ha competenze diverse e questo mi permette di imparare sempre cose nuove. Al momento non vedo aspetti negativi particolari.

Come ti vedi in futuro?

Non è facile, ma voglio essere ottimista. Spero di poter continuare ad avere fondi per le ricerche e persone in gamba con cui collaborare: molti giovani si allontanano dall'università per le scarse prospettive che offre.

Non ho in mente un percorso preciso; penso che fare programmi a lunga durata possa far perdere occasioni interessanti che magari si presentano lungo la strada.

Quali sono i tuoi interessi al di fuori del lavoro?

Amicizie e viaggi.

Sport (corsa, nuoto): è sempre una grande valvola di sfogo. E poi vita sociale e lettura.

Farmacia

ANNAMARIA DI FELICE
Di origini fiorentine, ora vive in Gran Bretagna, nel Surrey. Ha 34 anni ed è *Senior clinical pharmacist* in un ospedale.

MARIO PIPIA
Dopo aver vissuto tra Milano e Bergamo, si è stabilito definitivamente a Milano, dove lavora come farmacista collaboratore in una farmacia privata. Ha 32 anni.

Qual è stato il tuo percorso di studi?

Liceo classico, laurea in farmacia e scuola di specializzazione in farmacologia applicata, tutto a Firenze. Ora sto prendendo un diploma in *Pharmacy practice*: è una sorta di specializzazione prevista per i farmacisti che lavorano nel servizio sanitario inglese.

Liceo classico a Bergamo, laurea in farmacia all'Università statale di Milano.

Quando e perché hai scelto farmacia?

Dopo il liceo desideravo fare qualcosa di spendibile nel mondo del lavoro. Ho scelto farmacia perché mi interessava il campo sanitario, pur non volendo diventare medico, e perché le statistiche per l'impiego erano buone.

All'ultimo anno di liceo. Volevo fare qualcosa che fosse utile anche agli altri e avevo l'esempio positivo di alcuni farmacisti in famiglia. In più, speravo che mi avrebbe dato buone opportunità di trovare un lavoro.

Sei soddisfatto della tua scelta?

Il corso di laurea corrispondeva alle mie aspettative. La soddisfazione per gli sbocchi, invece, è arrivata solo con il mio trasferimento all'estero. In Italia non ho trovato molte opportunità, a parte lavorare in farmacia o come rappresentante di farmaci.

Sì, perché effettivamente lavoro come farmacista e perché l'università mi ha dato un'ottima base culturale: anche di fronte a un problema imprevisto so come muovermi per risolverlo.

C'è un libro che ritieni importante nella tua formazione? Perché?

Ce ne sono stati tanti, sia manuali sia libri di lettura. Se però devo citarne uno, punto su *Le basi farmacologiche della terapia*, di Goodman & Gilman.

Non uno in particolare. Penso soprattutto ai testi universitari di materie che oggi sono utili per il mio lavoro, come farmacologia.

Qual è stato il tuo primo lavoro?

La scuola di specializzazione dopo la laurea, per la quale ricevevo un assegno di ricerca. Ho lavorato ad alcuni progetti di ricerca, tra cui la valutazione dell'espressione genica della molecola Cox2 in una linea di cellule tumorali resistenti alla terapia.

Mi piace ricordare un lavoro che ho fatto d'estate da ragazzo, dopo una bocciatura. Ho lavorato come magazziniere (per caso in un magazzino di farmaci) e ho capito che senza studiare non avrei avuto possibilità di scelta circa il mio futuro.

Oggi di che cosa ti occupi?

Lavoro direttamente in corsia, affiancando i medici nella gestione delle terapie farmacologiche dei pazienti ricoverati. Facciamo in modo che le prescrizioni siano non solo conformi alle linee guida per le varie patologie, ma anche davvero adatte a ogni singolo paziente. È una posizione che non esiste in Italia.

Di varie cose: della gestione delle ricette, della consulenza sui farmaci ai clienti e dell'organizzazione di un piccolo laboratorio di preparazioni galeniche, cioè la preparazione di farmaci a partire da sostanze grezze, che la farmacia ha deciso da poco di avviare.

Quali sono i tuoi strumenti quotidiani di lavoro?

Il British National Formulary, la Bibbia del farmacista inglese: è una sorta di prontuario che riporta caratteristiche, dosaggi, indicazioni ed effetti collaterali di tutti i medicinali.

Molto diversificati: il computer per registrare le ricette, la testa per riuscire a dare consulenze ottimali, tutti gli strumenti di laboratorio, un libro di galenica che spiega come svolgere le preparazioni.

Che cosa ti piace di più del tuo lavoro di oggi, e che cosa di meno?

Mi piace molto lavorare in ospedale perché ho la possibilità di rendermi davvero utile ai pazienti e anche l'occasione di vedere l'applicazione clinica di quanto studiato. Inoltre sono sempre aggiornata sulle nuove terapie. La nota negativa è il carico di lavoro, che è sempre pesantissimo.

Mi piace il contatto con il pubblico e la possibilità di seguire i clienti nel tempo (lavoro in una farmacia di quartiere, molti clienti sono fidelizzati). Non amo molto la parte burocratica relativa alla gestione delle ricette e il fatto di dover lavorare ogni sabato.

Come ti vedi in futuro?

Se resterò in Gran Bretagna probabilmente diventerò *prescriber* (un farmacista che può prescrivere farmaci, come il medico). Se tornerò in Italia la mia situazione sarà invece molto più incerta.

Immagino di continuare a svolgere lo stesso lavoro, magari in una farmacia mia, rispetto alla quale assumere quindi anche un ruolo dirigenziale. Spero di continuare a crescere in esperienza.

Quali sono i tuoi interessi al di fuori del lavoro?

Uscire con gli amici, mangiar fuori, leggere, viaggiare.

Mi interesso di politica e sindacato e sono presidente dell'Associazione giovani farmacisti di Milano. Mi piace fare sport e stare all'aria aperta, soprattutto in montagna e al mare.

TRON: LEGACY

Andrea Bottino critico cinematografico per un giorno

Titolo Tron: Legacy
Titolo originale Tron: Legacy
Genere Fantascienza, azione
Anno 2010
Paese Usa
Produzione LivePlanet, Walt Disney Productions
Regia Joseph Kosinski
Cast Jeff Bridges, Garrett Hedlund, Olivia Wilde
Soggetto scientifico Informatica, realtà virtuale

LA TRAMA

Sam è il figlio ventisettenne di Kevin Flynn, ex presidente del colosso informatico ENCOM, misteriosamente scomparso vent'anni prima, quando era acclamato come il più grande ideatore di videogiochi al mondo. Sam è un ragazzo ribelle al punto che, diventato maggiore azionista della società del padre e in contrasto con il consiglio di amministrazione, decide di rubarne gli ultimi progetti per distribuirli gratuitamente sulla rete. Indagando su uno strano segnale che sembra collegato alla scomparsa paterna, Sam si ritrova in un fantastico mondo virtuale, la Rete, popolato da programmi crudeli e mortali. Ben presto, scoprirà che il cyber spazio in cui si trova è stato creato dal padre e che è controllato da CLU (Codified Likeness Utility), un'entità con le sembianze di un Kevin eternamente giovane, che era stata incaricata di creare un mondo perfetto ma si era poi rivoltata contro il suo stesso creatore, intrappolandolo nella Rete. Sam ritrova il padre grazie all'aiuto di Quorra, un programma che lo salva proprio mentre CLU sta per ucciderlo in una spettacolare gara tra moto di luce, e scopre che la ribellione di CLU è dovuta alla comparsa di ISO, programmi sviluppatisi autonomamente e dotati di un'intelligenza artificiale che permette loro di imparare, adattarsi ed evolvere. Per questo CLU li percepisce come imperfetti e ne decide lo sterminio: Quorra è l'ultimo esemplare rimasto. Inoltre, Sam e Kevin capiscono che CLU ha attirato Sam nel mondo virtuale per garantirsi una via d'uscita verso quello reale, che intende rendere "perfetto" conquistandolo con un esercito di programmi "rettificati".
Inizia quindi un viaggio, non solo fisico, in cui Quorra, padre e figlio cercano di fuggire dalla Rete, contrastati da CLU che intende varcare al loro posto il portale di uscita. Aiutati anche da Tron, programma protagonista del film omonimo di cui *Tron: Legacy* è il *sequel*, Sam e Quorra riescono a tornare nel mondo reale, mentre Kevin si sacrifica, ricongiungendosi con il suo alter ego per annullare la Rete.

IL COMMENTO

La tecnologia che permette di trasportare corpi e oggetti in un ambiente virtuale tramite scomposizione e ricomposizione molecolare, come si racconta nel film, è al di là di qualsiasi ipotesi scientifica o legge di natura. Tuttavia non siamo molto lontani dal momento in cui potremo simulare il nostro corpo e la nostra mente all'interno di un calcolatore.
La recente introduzione nel mondo dei videogiochi di dispositivi che consentono di utilizzare il movimento del corpo per il controllo dei videogiochi stessi, quali WiiMote per Nintendo, Move per PlayStation e Kinect per Xbox, va proprio in questa direzione. L'idea di fondo è garantire un'interazione con la tecnologia che sia la più naturale possibile. Ovvero: se nella vita di tutti i giorni interagiamo con la realtà attraverso lo sguardo, i gesti, il tatto e la voce, perché non utilizzare gli stessi meccanismi per controllare un computer? L'applicazione di questi concetti, per esempio con

ANDREA BOTTINO
è ricercatore presso il Dipartimento di automatica e informatica del Politecnico di Torino, dove si occupa di elaborazione digitale dell'immagine, di strumenti innovativi di interazione uomo-macchina e di realtà virtuale, soprattutto applicata nell'ambito dei beni culturali. È inoltre docente di realtà virtuale al corso di laurea in ingegneria del cinema.

IN RETE!

Il Film Scheda dell'Internet movie database. **imdb.com/title/tt1104001/**

Sito ufficiale. **disney.it/tron/index.jsp**

l'introduzione di interfacce *multitouch*, ormai immancabili in qualsiasi telefonino di ultima generazione, ha aumentato notevolmente l'usabilità dei dispositivi, tanto che le categorie che in genere hanno più difficoltà a interagire con la tecnologia, come bambini piccoli e anziani, riescono in pochi minuti a padroneggiare uno smartphone.
Oltre all'interazione, però, altri due concetti caratterizzano il mondo virtuale: la presenza, definita come la capacità di interpretazione di uno stimolo artificiale come se fosse reale, e l'immersione, cioè la sensazione di appartenenza all'ambiente virtuale e il conseguente estraniamento dal contesto reale.
E che cosa permetterebbe di aumentare presenza e immersione in maniera esponenziale, se non avere la possibilità di proiettare nel cyber spazio la propria coscienza? Si potrebbe discutere a lungo sulle prospettive inquietanti e indesiderabili che emergono da questa ipotesi, ma qui importa soprattutto sottolineare che non si tratta di scenari del tutto fantascientifici.
Due esempi per tutti. Il primo è dato dalle interfacce cervello-computer (o Brain Computer Interface, BCI), che rilevano i segnali emessi dall'attività cerebrale e li trasformano in comandi per dispositivi esterni. Al momento sono per lo più prototipi, studiati per permettere ai soggetti disabili di interagire con gli strumenti che li circondano, ma sono allo studio anche interfacce bidirezionali, che possano inviare informazioni nel senso inverso. Il secondo è Blue Brain, un progetto dell'Ecole Polytechnique di Losanna, che ha come obiettivo la costruzione di un programma in grado di simulare il funzionamento di un cervello. Attualmente si sta cercando di replicare la corteccia cerebrale di un topo, che è all'incirca sei volte meno complessa di quella degli esseri umani, ma gli specialisti ritengono che in dieci anni saranno in grado di sviluppare la copia di un cervello umano. È chiaro che a questo punto non rimane che una sottile barriera tecnologica da abbattere, prima che gli utenti abbiano la possibilità di connettere direttamente il loro essere cosciente a un ambiente di realtà virtuale.
E c'è ancora un aspetto di *Tron* a colpirmi. Il fatto che i programmi siano rappresentati come esseri senzienti, dotati di emozioni troppo simili a quelle umane, dà finalmente corpo alle vaghe inquietudini di molti. Chi non ha mai pensato che il programma che stava usando ce l'avesse in particolare con lui, o che ci fosse un illegittimo "accanimento" del computer proprio nei suoi confronti, alzi la mano. Se la realtà fosse quella descritta nel film, potremmo metterci tutti l'anima in pace. I programmi sarebbero lunatici, testardi, permalosi, prepotenti, viziati e, perché no, anche golosi e amanti della musica elettronica. E allora anche l'ultima speranza a cui ci aggrappiamo, cioè che spegnere e riaccendere il computer sia la panacea di tutti i mali informatici, risulterebbe solo un'effimera illusione e un'inutile perdita di tempo...

IN GIRO PER LA RETE

Internet è una vera miniera di pagine di scienza: siti istituzionali, blog, canali video, riviste online e altro ancora. Pagine che parlano di scienza o che, con la scienza, ci giocano. Anche voi lettori – docenti, studenti o classi intere – avrete sicuramente i vostri "preferiti". Potete inviarci le vostre segnalazioni, accompagnate da un commento originale, all'indirizzo **linxmagazine@pearson.it.**

CORTESIA PERIODIC VIDEOS

Elementi chimici in pillole

Ha una figura curiosa il chimico Martyn Poliakoff, con una chioma folta, riccia e bianca e grandi occhiali che incorniciano uno sguardo dolce e attento. Una figura perfetta per una serie di brevi video sugli elementi della tavola periodica, ideati dallo stesso Poliakoff, professore all'Università di Nottingham e abile divulgatore scientifico. I video, realizzati con la collaborazione di alcuni colleghi e del videogiornalista Brady Haran, non si limitano a raccontare storia e proprietà degli elementi chimici, ma spesso riportano le ultime novità della ricerca e offrono anche l'opportunità di seguire veri esperimenti. Di recente il sito si è arricchito di una nuova sezione dedicata a sostanze e molecole, dall'aspirina alla dinamite, dal cemento alla morfina.
www.periodicvideos.com

DON DAVIS / NASA

La vita nell'Universo

Ogni anno, la biologa evoluzionistica e astrobiologa Lynn Rothschild tiene all'Università di Stanford, in California, un corso di astrobiologia ed esplorazione spaziale, le cui lezioni sono scaricabili, gratuitamente, da iTunes (corso 2010). In un percorso più o meno lineare si parla di big bang, della storia della vita sulla Terra e nello spazio, di pianeti extrasolari, di asteroidi e meteoriti marziane. Le lezioni sono interessanti e gradevoli e decisamente multidisciplinari: per un tema così complesso come l'origine della vita, occorre infatti mettere in campo astronomia, biologia, chimica, fisica e filosofia.
http://itunes.apple.com/itunes-u/astrobiology-space-exploration/id384233328

MARCUS OBAL / WIKIMEDIA COMMONS

Discutere sul clima che cambia

Una ricca raccolta di informazioni, documenti e notizie sul tema dei cambiamenti climatici; analisi critiche approfondite delle posizioni negazioniste (quelle, appunto, che negano il fenomeno del riscaldamento globale, oppure le sue conseguenze sulla "salute" del pianeta o le responsabilità degli esseri umani nel fenomeno stesso); una discussione aperta sulle politiche climatiche decise dal nostro paese. Tutto questo si può trovare su *Climalteranti*, sito/blog a più mani ideato alcuni anni fa come "finestra online" del libro *A qualcuno piace caldo. Errori e leggende sul clima che cambia* (Edizioni Ambiente, 2008) di Stefano Caserini, docente di fenomeni di inquinamento al Politecnico di Milano. Sul sito si trova davvero di tutto: dalla segnalazione di bufale agli approfondimenti anche didattici (notevole quello sul ciclo del carbonio).
www.climalteranti.it

Scienza in rete

Ce n'è per tutti i gusti su *Scienzainrete*, web journal per la diffusione dell'informazione e della cultura scientifica nato alcuni anni fa da un'idea del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica, associazione di promozione sociale fondata da alcuni dei ricercatori italiani più citati al mondo nella letteratura scientifica. Il sito, dunque, propone un'ampia scelta di articoli su temi variamente legati al mondo della scienza: politica della ricerca, filosofia e storia della scienza, arte e scienza, approfondimenti e novità dalle varie discipline, riflessioni sulla scuola. E ci sono anche grafici interattivi e materiali multimediali. Spesso, inoltre, le webcam di Scienzainrete sono in prima linea a convegni, seminari, incontri, festival, offrendo la possibilità di assistere da casa agli eventi.

www.scienzainrete.it

JAROSLAV74 / ISTOCKPHOTO

Tutto sulla chimica verde

Promuovere la comprensione del concetto di sostenibilità e delle sue applicazioni in ambito chimico: è questo, in sintesi, l'obiettivo del corso online di *Green chemistry* promosso dall'Institute for Green Science della Carnegie Mellon University, negli Stati Uniti. Il corso – che si occupa anche di storia della chimica, oltre che delle caratteristiche e dei principi guida specifici di quel settore che va genericamente sotto il nome di "chimica verde" – è pensato per studenti universitari, ma le lezioni introduttive sono adatte anche a un pubblico di studenti delle scuole superiori, che possono trarne utili spunti per tesine di approfondimento. Non tutte le sezioni sono accessibili, ma quanto è navigabile è più che sufficiente per offrire una panoramica accurata sul tema. Da segnalare la presenza di un ricco corredo di video e di aggiornamenti scientifici, attraverso la sezione news. Naturalmente, è tutto in lingua inglese.

http://igs.chem.cmu.edu

Il pollice del panda

Come recita il sottotitolo, un blog di *Appunti di biologia e scienze naturali, riflessioni sull'evoluzione, illustrazione scientifica botanica e naturalistica*. L'autore è uno studente universitario (sta per prendere la laurea specialistica in biodiversità ed evoluzione all'Università di Milano), e questo gli permette di mantenere sui temi presentati uno sguardo fresco e frizzante, pieno dell'entusiasmo della scoperta, ma rigoroso dal punto di vista scientifico. Tre le sezioni principali del blog: appunti di biologia (la nicchia ecologica, la linea di Wallace, la biogeografia), riflessioni (come la percezione influenza la nostra concezione del mondo) e novità dalla ricerca (gli archeobatteri, l'uomo di Denisova). La scrittura è scorrevole, e i post resi ancora più accattivanti dai disegni originali.

IACOPO LEARDINI

http://ilpollicedelpanda.com

IL PROBLEMA DI MOLYNEUX

Nel 1728 un famoso chirurgo di Londra, William Cheselden, opera di cataratta un ragazzo di 14 anni, cieco dalla nascita, ridandogli la vista. Il resoconto dell'intervento, apparso sulla rivista della *Royal Society*, suscita un enorme interesse e riaccende la discussione su un problema nato nel 1688, quando lo studioso irlandese di ottica William Molyneux aveva posto all'amico filosofo John Locke il seguente interrogativo: un cieco dalla nascita, al quale si sia insegnato a distinguere mediante il tatto un cubo da una sfera, ove recuperi improvvisamente la vista, sarà in grado di distinguere il cubo dalla sfera senza far ricorso al tatto?

Esperienza o ragione?

Per Molyneux il cieco *non* sarebbe in grado di distinguere i due corpi perché, pur avendo appreso per esperienza i due modi diversi con i quali il cubo e la sfera colpiscono il suo senso del tatto, egli però non saprebbe ancora far corrispondere all'esperienza tattile precedente la nuova esperienza visiva.
Locke, in coerenza con la propria concezione empiristica secondo cui l'origine della conoscenza sta nell'esperienza, accetta la soluzione dell'amico: «Credo che questo cieco, *alla prima occhiata*, non sarebbe in grado di dire con certezza quale sia la sfera e quale il cubo, ove si limitasse a guardarli».
Nel 1709 George Berkeley, d'accordo con Locke, afferma che la vista e il tatto sono tra loro del tutto distinti: le percezioni ottenute tramite i due sensi non hanno alcuna comunanza oggettiva. Per questo, al neovedente non è possibile collegare i due corpi che ora vede con quelli toccati in precedenza. Nel 1728, l'esperimento di Cheselden verrà inteso come una conferma della tesi Locke-Berkeley: il ragazzo operato, all'inizio, non percepisce gli oggetti esterni distanti.
Nel frattempo, anche il tedesco Leibniz interviene sulla questione. La sua posizione, però, è differente e difende l'innatismo, ossia la concezione secondo cui la realtà è conoscibile in primo luogo con il pensiero, attraverso nozioni intellettuali innate come quelle matematiche. «Grazie ai principi della ragione congiunti a ciò che il primo tatto gli aveva fornito», il neovedente sarà in grado, senza toccarli, di distinguere i due corpi. Secondo questa posizione, il fatto che i non vedenti e i «paralitici» possano giungere alle stesse idee geometriche, pur non avendo in comune le stesse sensazioni, dimostra che le idee esatte non provengono dall'esperienza, ma dalla pura ragione.

Un dibattito eccitante

Nel Settecento poche polemiche eccitano l'ingegno degli illuministi come il problema di Molyneux. Voltaire dà ragione a Locke. Il medico e filosofo La Mettrie, invece, gli dà contro e obietta: «Un globo esaminato dal tatto e chiaramente concepito, basta che venga mostrato agli occhi aperti: esso sarà conforme all'idea già impressa nel cervello; e quindi sarà impossibile all'anima di non distinguere questa figura da qualsiasi altra».
Con La Mettrie si schiera Condillac, scrivendo nel 1746 che la vista ha in sé la capacità di cogliere le forme geometriche non appena l'essere umano sia in grado di "riflettere" sulle sensazioni che gli provengono dagli occhi. Per La Mettrie e Condillac, dunque, il non vedente che riacquisti la vista distinguerà il cubo dalla sfera, "sentendoli" con la vista e poi giudicando in base alle proprie facoltà razionali.
Nella *Lettera sui ciechi*, del 1749, Diderot si allinea alla soluzione La Mettrie-Condillac: è la ragione che indirizza le esperienze dei sensi, funzionando come un "sensorio comune" che governa l'intero nostro organismo. Intanto, però Condillac, cambia parere e nel 1754 si avvicina alla tesi Locke-Berkeley: è errato presupporre che l'essere umano sia in grado di usare i sensi fin dall'inizio della vita. Al contrario, deve *imparare* a esercitare la sensibilità. Questo significa che, all'inizio dell'esistenza, privi di idee innate, gli esseri umani vivono come in uno stadio "zero" della conoscenza.

Sensi e conoscenza

Il problema di Molyneux è un banco di prova della disputa tra empiristi e innatisti. Per i primi, il caso del non vedente dimostra come la conoscenza non si fondi su principi innati, ma sull'esperienza. Per i secondi, l'esperienza non può che fondarsi su principi *a priori*. Il confronto tra innatismo ed empirismo è vivo ancora oggi. Come interagiscono i sensi nella conoscenza? Esistono idee innate o le conoscenze derivano dall'esperienza? Queste domande orientano oggi le *neuroscienze* e la *philosophy of mind* diffusa nella cultura anglosassone.

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

PER APPROFONDIRE

— S. Parigi, *Teoria e storia del problema di Molyneux*, in "Laboratorio dell'ISPF", 2004, I. Scaricabile dal sito **www.ispf.cnr.it/ispf-lab**

LABORATORI VIRTUALI

I laboratori virtuali sono programmi interattivi che simulano veri e propri laboratori di biologia, chimica e fisica, con un'interfaccia tridimensionale realistica che consente di progettare esperimenti scientifici e realizzare simulazioni.
I laboratori consentono di realizzare un numero praticamente illimitato di esperimenti virtuali

Laboratorio virtuale di Biologia

Sistematica

Ecologia

Biologia molecolare

Genetica

Microscopia

All'interno del laboratorio sono presenti cinque ambienti in cui condurre esperimenti e simulazioni utilizzando oltre 170 specie di organismi. Tra le dotazioni del laboratorio sono disponibili 27 schede di lavoro e il manuale operativo

Laboratorio virtuale di Chimica

Laboratorio virtuale di Fisica e Chimica

RI636400074F

www.linxedizioni.it

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

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

linx

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

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

Consenso al trattamento dei dati personali – Informativa

La società Pearson Italia S.p.A. con sede a Torino in Corso Trapani n. 16 riveste la qualità di titolare del trattamento dei Suoi dati personali, che raccoglie e tratta esclusivamente per poterla informare sulle sue iniziative editoriali. I Suoi dati sono trattati attraverso l'uso di strumenti elettronici e manuali e vengono conservati secondo le modalità imposte dal Codice Privacy, nell'osservanza delle più rigorose misure di sicurezza finalizzate ed evitare il rischio di accesso da parte di terzi, di distruzione e di trattamento non consentito e non conforme alle finalità della raccolta. Questa Società Le assicura l'esercizio dei diritti previsti dall'art. 7 del d.lgs. 196/03 quali, tra gli altri, il diritto di conoscere l'esistenza o l'origine dei dati personali, il diritto di opporsi a tutto o parte del trattamento nonché il diritto di chiedere il blocco del trattamento, la modifica e/o la cancellazione dei dati.

Ai sensi degli articoli 13 e 23 del d.lgs.196/2003, dichiaro di aver preso atto dell'Informativa relativa al trattamento dei miei dati e vi autorizzo esplicitamente al loro trattamento unicamente ai fini amministrativi per l'invio di materiali scolastici al mio indirizzo.

firma ..... data .....

Inviare via fax al numero 011 75021510 o via posta a Linx – Pearson Italia S.p.A – Corso Trapani 16 – 10139 Torino
Per qualsiasi informazione sulla Newsletter o sul Magazine può scriverci a **info.newsletterscuola@pearson.it**