bimestrale, giugno 2021

ISSN 0036-4681- ISBN 978-88-220-9449-0 - anno 88°, n. 3 / € 8,00

edizioni Dedalo

idee e progressi della scienza



FISICA

Sulle tracce del gatto di Schrödinger

AMBIENTE

La fillosfera: i batteri che migliorano la qualità dell'aria

Abbonati a Sapere!

abbonamenti@edizionidedalo.it



in omaggio questo mese







DIRETTORE Nicola Armaroli

EDITORIAL BOARD

Tommaso Castellani, Elena Ioli, Massimo Trotta

COMITATO SCIENTIFICO

Vincenzo Barone, Giulio Biroli, Enrico Bonatti, Claudio Franceschi, Maria Cristina Facchini, Marco Garavelli, Alba L'Astorina, Barbara Mognetti, Massimo Monteleone, Roberto Natalini, Alina Polonia, Stefano Sandrelli, Sara Tortorella, Adriana Valente

REDAZIONE

Micaela Ranieri - sapere@edizionidedalo.it

Philip Ball, Federico Benuzzi, Francesco Cappellani, Tommaso Castellani, Marco Cervino, Cristina Mangia, Monica Marelli, Roberto Natalini, Vincenzo Palermo, Ennio Peres, Armando Pisani, Alina Polonia, Stefano Sandrelli, Marco Signore, Hervé This

TRADUZIONI

David Santoro (per Philip Ball) Andrea Migliori (per Hervé This)

PROGETTO GRAFICO

Coordinamento: Rosanna Pucciarelli Grafica: Salvatore Modugno Impaginazione: Stefano Fontana

DIRETTORE RESPONSABILE Claudia Coga

DIREZIONE, AMMINISTRAZIONE, ABBONAMENTI Edizioni Dedalo

divisione della Dedalo litostampa srl V.le Luigi Jacobini 5, Bari 70132 Tel. 080/531.14.13 - Fax 080/531.14.14 e-mail: abbonamenti@edizionidedalo.it www.edizionidedalo.it

ABBONAMENTO 2021 cartaceo più pdf euro 44,00 (estero euro 85,00) versione pdf euro 25,00 A tutti gli abbonati verrà inviato a fine anno, in omaggio, il raccoglitore dei fascicoli dell'annata

CONTO CORRENTE POSTALE

n. 11639705 intestato a: Dedalo litostampa srl, Bari

ARRFTRATI

per i fascicoli arretrati consultare il sito internet www.edizionidedalo.it o contattare l'Editore

COPYRIGHT

edizioni Dedalo

divisione della Dedalo litostampa srl - Bari Manoscritti e fotografie non richiesti non si restituiscono

PUBBLICITÀ

edizioni Dedalo divisione della Dedalo litostampa srl V.le Luigi Jacobini 5, Bari 70132 Tel. 080/531.14.13 - Fax 080/531.14.14 info@edizionidedalo.it

STAMPA Dedalo litostampa srl, Bari

REGISTRAZIONE

n. 372 del 3 ottobre 1969 del Tribunale di Bari

DISTRIBUZIONE IN LIBRERIA

Messaggerie libri

foto di copertina © Francesca Caiaffa

Ogni tentativo è stato fatto per recuperare i crediti fotografici corretti. Ci scusiamo se, per cause indipendenti dalla nostra volontà, avessimo omesso o citato erroneamente alcune fonti.



IN QUESTO NUMERO



Sulle tracce del gatto di Schrödinger nel silenzio cosmico

di C. Curceanu e K. Piscicchia

Come funzionano i motori di ricerca

intervista di Tommaso Castellani a Giorgio Taverniti



Fotografie di antimateria: storie di positroni in medicina

di Veronica Ferrero

La fillosfera: i batteri che migliorano la qualità dell'aria

di Andrea Franzetti e Isabella Gandolfi





Il dialogo tra muscoli e cervello: perché l'esercizio fisico ci fa stare bene

di Agnese Mariotti

	EDITORIALE La misura del benessere di Nicola Armaroli SATELLITE news a cura di Luigi Minervini ARTICOLI	5				
	SICA ulle tracce del gatto di Schrödinger nel silenzio cosmico Catalina Curceanu e Kristian Piscicchia					
	TECNOLOGIA Come funzionano i motori di ricerca intervista di Tommaso Castellani a Giorgio Taverniti			16		
	FISICA MEDICA Fotografie di antimateria: storie di positroni in medicina di Veronica Ferrero					
	AMBIENTE La fillosfera: i batteri che migliorano la qualità dell'aria di Andrea Franzetti e Isabella Gandolfi					
	BIOLOGIA Il dialogo tra muscoli e cervello: perché l'esercizio fisico ci fa stare ber di Agnese Mariotti					
	SCIENZA A SCUOLA Il laboratorio di fisica ai tempi della DAD e oltre di Armando Pisani	40				
/ - · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	STORIE DI SCIENZA La breve, lunga storia dei vaccini anti-Covid di Vincenzo Palermo STORIE DI Fritz Zwicky e la scoperta della "materia oscura" di Francesco Cappellani RUBRICHE	42 44	60.00			
-	FISICA? UN GIOCO	47				
	Un lungo viaggio di Federico Benuzzi	46				
	TERRA, TERRA! Doline "sismiche" in Croazia di Alina Polonia	47				

Sapere, giugno 2021

HOMO MATHEMATICUS Napoleone, matematico di Roberto Natalini	48	8		
SPAZIO ALLA SCUOLA Il soffiatore di vetro di Stefano Sandrelli	49	9		
COSCIENZIAT@ Piano nazionale PNRR: obiettivo di Marco Cervino e Cristina Man		0		
LA FORMULA Portarsi avanti di Tommaso Castellani	5			
MOLECOLE IN CUCINA Sospensioni per divisione, per c di Hervé This	ostruzione (o per soluzione	52	
L'ISTINTO MUSICALE Richiamo nomade di Philip Ball			53	
NUMERI IN GIOCO Memoria e perspicacia di Ennio Peres			54	
	SCIEN LIBRI IL RACCON	NZA LIGHT	56	
	La scatoletta di Gianfranc	r	58	
	BUFALE E M I cerchi delle di Monica M	e fate	60	<u></u>
	SCIENZA D Come sopra di Marco Sig	vvivere su un'isola deser	ta 61	
	GRAPHIC N CRISPR CASS di Alessandro	7 - Editing genomico	62	
Square giugno 2021	LA MAPPA Guarire i cilio		64	
Sapere, giugno 2021				



Occhi Fotografia di Claudia Coga



La misura del benessere

Nicola Armaroli

Nei primi anni '30, l'economista Simon Kuznets fu il motore di una serie di studi voluti dalla Casa Bianca per fornire un indice numerico che potesse indicare in modo semplice la salute economica del Paese. L'esigenza nasceva dal caos della Grande Depressione, quando la mancanza di dati e indici impedì di seguire l'andamento della febbre economica. Quando Kuznets introdusse pochi anni dopo l'indice GDP (Gross Domestic Product) – per noi PIL (Prodotto Interno Lordo) – fu il primo a mettere in guardia da un utilizzo inappropriato della sua creatura.

Si tratta infatti solo di una misura del valore dei prodotti e dei servizi generati in una nazione, che non deve essere usata per misurare il *benessere* sociale e persino economico di un Paese. I motivi sono ovvi, ma è utile ricordarli. Se ci sono ad esempio più incidenti stradali, il PIL cresce perché fatturano assicurazioni, carrozzieri, ospedali, centri di riabilitazione, pompe funebri e fiorai. È difficile però pensare che questo generi un progresso del benessere nazionale.

Sono passati 80 anni e la raccomandazione di Kuznets, premio Nobel per l'Economia 1971, è ancora inascoltata. Il PIL resta il parametro principe per misurare la salute di un'economia e, surrettiziamente, il benessere di una nazione.

Sono stati proposti altri indici per meglio descrivere il progresso globale di un Paese – come HDI (Human Development Index) e GPI (Genuine Progress Indicator) – ma spesso restano una curiosità accademica. Interessante anche il GEP (Gross Ecosystem Product), un parametro che definisce il contributo della natura all'attività economica. È stato applicato alla regione cinese del Qinghai, dove nascono Mekong, Yangtze e Fiume Giallo, tre corsi d'acqua che tengono letteralmente in vita miliardi di persone. Solo recentemente il PIL del Qinghai ha superato il suo altissimo GEP. Se in futuro la forbice dovesse aumentare, potrebbe essere la spia di un

impoverimento delle risorse naturali, che metterebbe a rischio la crescita economica di quell'immenso bacino nel lungo termine. In pratica: addio PIL.

Il mondo sta cambiando rapidamente e dobbiamo misurarlo meglio. Il PIL globale continua a crescere, ma le disuguaglianze tra le nazioni e all'interno dei singoli Stati aumentano. La disparità nell'accesso ai vaccini è l'ultima chiamata per prendere atto che non è più sufficiente essere ricchi per sentirsi al sicuro. È utile misurare il PIL, ma solo se misuriamo anche l'aumento o la diminuzione delle risorse naturali, un migliore o un peggiore accesso all'istruzione, una maggiore o inferiore coesione sociale. E tanto altro.

Da mesi discutiamo di Recovery Fund. Il piano inviato di recente a Bruxelles è solo il quadro generale di riferimento. Ora dobbiamo decidere quali progetti realizzare e quali scartare. Occorre soprattutto scegliere – adesso – le opere che miglioreranno davvero il benessere dei nostri figli e nipoti, perché il piano avrebbe esattamente questo scopo e non altri. Purtroppo sinora la discussione è piuttosto deludente: trionfano sui media economisti e *opinion maker* che snocciolano con entusiasmo previsioni di aumento del PIL fra 1, 5 o 10 anni, grazie ai fondi investiti. Anche il governo non si è mostrato particolarmente originale nel tentare di suggerire, almeno in questa occasione, metriche o prospettive diverse.

La montagna di soldi che ci apprestiamo a spendere è per il 65% un prestito e, in gran parte, saranno figli e nipoti a doverlo onorare. Riusciremo, al termine di questa impresa, a risparmiare loro la beffa di un'Italia forse più ricca di PIL, ma più povera di tutto il resto?

Nei prossimi mesi aiuterà ricordare quanto disse Bob Kennedy nel 1968, solo tre mesi prima di essere assassinato: «Il PIL misura tutto, eccetto quello che rende la vita veramente degna di essere vissuta».



L'estinzione dei dinosauri: caccia al colpevole

La caduta del corpo celeste che alla fine del Cretaceo ha provocato l'estinzione del 75% delle specie viventi, compresi i dinosauri, rappresenta forse l'evento più iconico del passato del nostro pianeta. Ma da dove veniva questo misterioso oggetto, di cui ci è data testimonianza dall'enorme cratere di Chicxulub, al largo delle coste del Messico? Secondo due ricercatori dell'Università di Harvard, Amir Siraj e Abraham Loeb, si tratterebbe del frammento di una cometa proveniente dalla nube di Oort, una zona esterna del Sistema

Solare, come propongono in uno studio pubblicato su *Nature*.

Secondo le ipotesi più accreditate, l'impattore di Chicxulub potrebbe essere appartenuto agli asteroidi della Fascia principale oppure alle comete della nube di Oort, le comete di lungo periodo; aveva probabilmente un diametro di circa 10 km e una composizione condritico-carboniosa. «Sappiamo che pochi asteroidi hanno questa composizione, ma sia i dati derivati dall'osservazione che le teorie sulla formazione dei sistemi planetari suggeriscono che potrebbe essere diffusa tra le comete di lungo periodo», ha spiegato Siraj.

Tuttavia, si stima che la frequenza con cui un oggetto avente queste caratteristiche potrebbe colpire la Terra è troppo bassa – circa una volta ogni 3,5 miliardi di anni – per giustificare l'evento del Cretaceo. Gli autori hanno risolto il problema mostrando che una frazione di queste comete potrebbe passare nelle vicinanze del Sole, ed essere frammentata dalle sue forze di marea.

Questo meccanismo sarebbe stato dimostrato attraverso simulazioni delle interazioni gravitazionali tra le comete e il sistema Giove-Terra-Sole, in cui un ruolo cruciale sarebbe svolto proprio da Giove, che deviando il percorso delle comete le



porterebbe verso l'interno del Sistema Solare. Si genererebbe così un elevato numero di frammenti condritici-carboniosi, alcuni dei quali potrebbero incrociare l'orbita terrestre ogni 250-730 milioni di anni, aventi dimensioni in grado di spiegare l'evento della fine del Cretaceo, ma non solo. «Anche il più grande cratere della Terra, così come il più grande formatosi nell'ultimo milione di anni hanno una composizione condritico-carboniosa e rientrano nel range di dimensioni di cui il nostro modello prevede un aumento nei tassi di impatto». I due ricercatori pensano inoltre alla Luna, la cui superficie piena di crateri evidenzia un passato tutt'altro che pacifico. Il loro modello, viene precisato nello studio, non entra in conflitto con i tassi di impatto finora previsti per la Luna, in quanto si applicherebbe solo agli impattori delle dimensioni affini a quello di Chicxulub.

«Gli asteroidi sono il maggiore rischio nel breve periodo e quindi dovremmo monitorare il cielo e assicurarci che non ci siano oggetti grandi diretti

sulla Terra durante la nostra vita», ha commentato Loeb, ricordandoci che la conoscenza di queste dinamiche potrebbe essere di interesse pratico, oltre che culturale.



INFO

Una nuova energia oscura

A essere precisi, si tratterebbe di una forma di energia oscura nuova solo per noi esseri umani, che ne ignoravamo l'esistenza fino ad adesso. Secondo i suoi scopritori, Florian Niedermann e Martin Sloth della University of Southern Denmark di Odense, sarebbe invece antica come l'Universo stesso e potrebbe costituire il tassello mancante necessario a spiegare la velocità di espansione dell'Universo misurata sperimentalmente. Il modello attraverso il quale i due ricercatori sono arrivati a ipotizzarne il meccanismo di formazione è descritto in uno studio pubblicato su *Physical Review D*.

Questa nuova energia oscura – gli scienziati l'hanno chiamata NEDE (*New Early Dark Energy*) – si sarebbe generata nei primi istanti dopo il Big Bang, attraverso un meccanismo definito di transizione di fase del primo ordine avvenuto in un settore oscuro dell'Universo primordiale. «È un processo in cui appaiono improvvisamente molte bolle della nuova fase e, quando queste bolle si espandono e si scontrano, la transizione di fase è completa. Su scala cosmica, è un processo quantistico molto violento», ha spiegato Martin Sloth. Lo studio è stato realizzato in un momento in cui le nuove misurazioni del tasso di espansione dell'Universo hanno mandato in seria crisi il modello standard

della cosmologia. «Il modello della NEDE contiene in sé la capacità di appianare completamente le discrepanze derivate dalle misurazioni», concludono incisivamente gli autori.



INFO

Un colpo basso per i ghiacci della Groenlandia

Da metà degli anni '90, lo scioglimento dei ghiacciai della Groenlandia sta avvenendo con una velocità preoccupante a causa dell'azione delle acque calde atlantiche. Queste, infiltrandosi nella parte bassa dei fiordi, ne provocherebbero un veloce arretramento, che porterebbe poi a un cedimento anche delle zone sovrastanti. Un gruppo internazionale di ricercatori, attraverso modellazione oceanica e osservazioni di 226 ghiacciai, ha effettuato le prime analisi quantitative di questo fenomeno, in gergo noto come *undercutting*. Il gruppo, guidato da Michael Wood dell'Università della California di Irvine, ha pubblicato i risultati dello studio su *Science Advances*.

L'undercutting colpirebbe i ghiacciai situati nei fiordi più profondi, determinando una perdita di ghiaccio del 50% circa. Al contrario, i tassi di arre-



© Hannes Grobe - Wikimedia

tramento dei ghiacciai più superficiali e a contatto con acque fredde sono notevolmente inferiori. Sebbene non tutte le dinamiche che controllano questi processi siano ancora chiare – gli autori precisano che sono oltre 80 i ghiacciai per i quali non hanno diagnosticato i meccanismi di ritiro – quello dell'*undercutting* è un elemento importante da includere nei modelli. «Per la prima volta,

siamo stati in grado di quantificare l'effetto e dimostrare il suo impatto dominante sul ritiro dei ghiacciai negli ultimi vent'anni», ha spiegato Eric Rignot, coautore dello studio.



Il segreto delle farfalle

«Vola come una farfalla», consigliava Muhammad Ali. Due biologi dell'Università di Lund, Christoffer Johansson e Per Henningsson, hanno scoperto cosa rende unico il volo delle farfalle, esaminandone la dinamica. I risultati delle loro misure, le prime a essere effettuate direttamente su farfalle in volo libero, sono stati pubblicati sul *Journal of the Royal Society Interface*.

Il titolo della pubblicazione, traducibile come "Le farfalle volano usando un efficiente meccanismo di battito dovuto ad ali flessibili", riassume il segreto che è stato svelato. Sarebbe proprio la flessibilità a far assumere alle ali, mentre si muovono verso l'alto, una forma a coppa che raccoglierebbe all'interno una sorta di bolla d'aria. Nel momento del battito questa bolla verrebbe lanciata indietro fungendo da propulsore e garantendo una rapida accelerazione in avanti, utile soprattutto in



caso di fuga. «Le nostre misurazioni mostrano che l'efficienza delle ali flessibili è del 28% maggiore di quella di ali rigide», spiega Johansson, aggiungendo che «la forma e la flessibilità delle ali delle farfalle potrebbe ispirare notevoli migliorie nelle

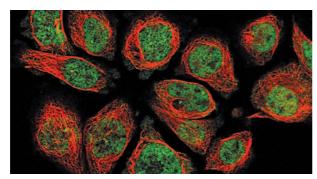
tecnologie di volo di piccoli droni». I due autori hanno già costruito dei modelli meccanici che confermano l'efficienza misurata, quindi l'attesa non sarà poi così lunga.



INFO

Sempre più dentro il nucleo delle cellule

Un team di ricercatori del Caltech di Pasadena ha messo a punto un metodo, basato su una tecnologia nota come seqFISH+, che permetterebbe di esplorare il nucleo delle cellule con un dettaglio mai raggiunto prima, e di comprenderne le relazioni tra le varie parti. Il gruppo, guidato da Yodai Takei, ha recentemente pubblicato i risultati dello studio su *Nature*.



© MEBurkhart - Wikimedia

Indagando oltre 3000 loci genici di cellule staminali embrionali di topo con questo approccio di imaging multimodale, il team ne ha determinato l'organizzazione del genoma, i corpi nucleari, le modificazioni della cromatina e l'espressione dei geni. Il successo del metodo sta nel poter finalmente osservare tutti questi elementi nella stessa cellula, il che consentirebbe di evidenziarne le reciproche relazioni. I rapporti tra i componenti del nucleo non sarebbero infatti manifesti analizzando più cellule, a causa dell'elevato grado di variabilità che mostrano al livello di organizzazione subnucleare.

«La struttura dei cromosomi di una cellula e il modo in cui il suo DNA è piegato hanno un impatto sull'espressione genica e sulla regolazione», ha commentato Long Cai, coautore dello studio. «Avevamo davvero bisogno di un modo per vedere la struttura all'interno delle singole cellule». Precisando che questo metodo potrà es-

sere applicato a vari sistemi biologici, gli autori ci lasciano col fiato sospeso, in attesa che chissà quale nuova, microscopica porta, venga aperta.



INF

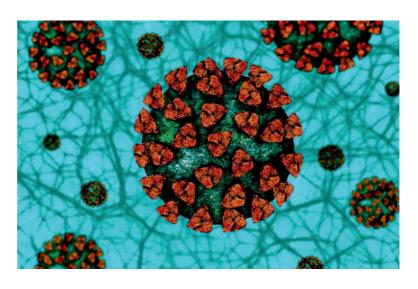
SARS-CoV-2 verso l'endemismo: una lunga strada

È passato più di un anno dalla comparsa dell'emergenza epidemiologica da SARS-CoV-2, e il mondo scientifico si chiede ora quanto durerà e come evolverà in futuro. In particolare, Jennie S. Lavine e Rustom Antia della Emory University di Atlanta, insieme a Ottar N. Bjornstad della Pennsylvania State University hanno indagato su come la gravità dell'infezione da Covid-19 potrà variare negli anni a venire, o addirittura nei prossimi decenni. Nel loro studio, pubblicato su Science, hanno sviluppato un modello tenendo conto dei dati immunologici ed epidemiologici

provenienti da lavori inerenti agli altri coronavirus che colpiscono gli umani, e che ormai da decenni sono le cause dei comuni raffreddori.

Lavine e colleghi hanno approcciato il problema partendo da una considerazione tanto generale quanto nefasta, almeno a un primo impatto: il SARS-CoV-2 ha raggiunto livelli di diffusione così alti che le probabilità di eliminarlo sono pressoché nulle. Tuttavia, sono proprio gli altri coronavirus già in circolazione a far rivedere agli autori questo assunto in chiave meno drammatica: virus di questo tipo, essendo ormai endemici, provocano numerose reinfezioni nel corso della vita di un individuo, le quali portano a sviluppare un'immunità sufficiente a proteggere da gravi malattie in età adulta. Utilizzando questo meccanismo di acquisizione dell'immunità, il modello sviluppato nello studio analizza il percorso che potrebbe portare anche il SARS-CoV-2 verso l'endemismo.

Il passaggio dalle dinamiche epidemiche a quelle endemiche tiene conto di diversi fattori, tra cui l'impatto dei vaccini, e prevede che le prime infezioni si verificheranno già nella prima infanzia, «periodo in cui le conseguenze sono tipicamente lievi se non addirittura nulle», spiega Jennie Lavine. Un'altra caratteristica dei virus endemici è inoltre il numero delle persone



colpite, che, nel corso degli anni, tende a mantenersi sostanzialmente stabile. «Raggiungere questa stazionarietà potrebbe richiedere pochi anni o decenni, a seconda della velocità con cui la popolazione svilupperà l'immunità», precisa l'autrice.

Lo scenario proposto trova il consenso del mondo scientifico, come è stato messo in evidenza da un'inchiesta svolta dalla rivista *Nature*, che agli inizi del 2021 ha avviato un'indagine rivolta a cento esperti – immunologi, infettivologi e virologi che si sono occupati di coronavirus – chiedendo la loro opinione sulla possibilità di debellare il virus. Di questi, circa il 90% prevede che il SARS-CoV-2 diventerà endemico, precisando che il reale percorso verso l'endemismo è però difficile da prevedere.

Gli scienziati sottolineano comunque il ruolo cruciale dei vaccini, i quali, a seconda della risposta immunitaria che genereranno, potranno velocizzare l'evoluzione della malattia Covid-19 in una endemica più lieve. «Se in futuro si abban-

doneranno le campagne vaccinali e le strategie per ridurne la diffusione, potrebbero arrivare giorni ancora più oscuri per la pandemia», si legge nell'articolo di *Nature*.



Sulle tracce del gatto di Schrödinger nel silenzio cosmico

Un nuovo record nello studio del collasso della funzione d'onda collegato alla gravità è stato ottenuto in misure effettuate nei laboratori sotterranei del Gran Sasso.

Chi non usa oggi un telefonino o un computer? Soprattutto in quest'ultimo anno la tecnologia digitale l'ha fatta da padrona, ma pochi sanno che tutto questo è stato reso possibile dalla meccanica quantistica. È la nostra miglior teoria dell'universo mi-

croscopico, che descrive il comportamento delle particelle, degli atomi e delle molecole, persino dei virus; sta alla base dei livelli energetici nel

La meccanica quantistica è la nostra miglior teoria dell'universo microscopico. silicio e fa funzionare i microchip nei nostri telefonini. Se qualcuno avesse brevettato la meccanica quantistica sarebbe stata la persona più ricca del mondo! Per fortuna gli scienziati, soprattutto quelli come noi che lavorano

nel campo della fisica fondamentale, lo fanno per il puro piacere della scoperta, spinti da un motore potentissimo: la curiosità.

La meccanica quantistica è con noi da oltre un secolo e la sappiamo usare molto bene, applicandola dalla fisica all'ingegneria fino alla biologia e alla chimica; tuttavia, anche se sono passati circa novant'anni dall'inizio delle discussioni fra Bohr e Einstein, capostipiti di scuole di pensiero sull'interpretazione e il significato profondo di questa meravigliosa teoria, molte questioni sono ancora aperte.

Schrödinger, che scoprì l'equazione alla base dei fenomeni quantistici, e che in questo dibattito

Catalina Curceanu, INFN-LNF e Kristian Piscicchia, Centro Ricerche Enrico

Fermi e INFN-LNF

parteggiava per Einstein, inventò il famoso paradosso del gatto per spiegare ai colleghi quanto considerasse strana la teoria: questo zombie-gatto è, secondo la meccanica quantistica, sia vivo che morto fin quando un osservatore non si accerta del suo stato, come

vedremo. A tutt'oggi stiamo lavorando per risolvere il problema che sta alla base di questo paradosso.

Fra le possibili soluzioni ce n'è una, in particolare, che risolve il problema alla radice, modificando l'equazione di Schrödinger che determina il paradosso del gatto. Roger Penrose e Lajos Diósi hanno proposto anni fa il meccanismo alla base di questa modifica: un intreccio fra la meccanica quantistica e l'altra teoria alla base della conoscenza dell'Universo, la teoria della relatività generale di Einstein.

Se si modifica però l'equazione alla base della fisica quantistica emergono nuovi fenomeni che non esistono nella teoria originale. Uno di questi è la cosiddetta *radiazione spontanea*, un'emissione estremamente debole di fotoni da parte di particelle elettricamente cariche. Nei laboratori sotterranei dell'INFN del Gran Sasso abbiamo cercato di misurare questa radiazione, andando a caccia del gatto di Schrödinger.

La meccanica quantistica: la teoria di atomi e particelle

La nascita di ogni nuova teoria è motivata da fatti sperimentali che è impossibile inquadrare nel con-

testo delle teorie esistenti. La meccanica quantistica non fa eccezione. Alla fine dell'Ottocento c'era una lunga serie di osservazioni sperimentali che non trovavano spiegazione nella teoria classica. La più famosa era la cosiddetta radiazione di corpo nero, in parole semplici lo spettro in energia della radiazione emessa da un corpo nero in funzione della temperatura. Poi c'era la stessa stabilità della materia: nella teoria classica infatti gli atomi non potrebbero esistere, in quanto gli elettroni,

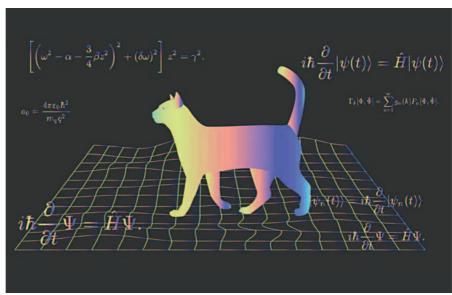
emettendo radiazione, dovrebbero cadere sui nu-

clei in frazioni di secondo. Un altro fenomeno che non trovava spiegazione era l'emissione di elettroni da parte di metalli irradiati da luce, chiamato effetto fotoelettrico, le cui caratteristiche erano incompatibili con la meccanica classica.

Il 1900 – l'anno di nascita della meccanica quantistica – vede spiegata la radiazione di corpo nero da parte di Max Planck, attraverso un'ipotesi che rompeva col passato: l'energia della radiazione non era continua, ma veniva emessa dalla materia sotto forma di pacchettini, i famosi quanti.

La stabilità della materia fu, a sua volta, spiegata da Bohr con un modello atomico che vedeva gli elettroni su orbite stazionarie, quantizzate: l'energia veniva emessa soltanto quando gli elettroni saltavano da un'orbita all'altra. Fu invece Einstein, nel suo annus mirabilis 1905, a spiegare l'effetto fotoelettrico, ritornando a una visione corpuscolare della radiazione: la luce è fatta di fotoni. Ma, siccome la luce è anche un'onda elettromagnetica, come mostrano innumerevoli altri esperimenti, ecco nascere il dualismo onda-particella, nonché il dibattito sulla natura stessa degli oggetti microscopici. Come si dimostrò più avanti, infatti, non solo i fotoni sono sia onde che particelle, ma anche tutto il resto: dagli elettroni agli atomi e alle molecole.

Furono Heisenberg e Schrödinger, negli anni '20, a dare una veste molto elegante alla mecca-



La meccanica quantistica è alla base della nostra vita, ma nasconde ancora alcuni misteri da

nica quantistica attraverso due approcci diversi ma equivalenti. L'equazione di Schrödinger era più facile da utilizzare rispetto al metodo matriciale di Heisenberg, ed è ancora l'approccio più utilizzato dalla comunità scientifica, sebbene il secondo sveli la profonda connessione con il formalismo della fisica classica.

L'equazione differenziale alla base della meccanica quantistica ha come oggetto di studio la cosiddetta funzione d'onda. Per un oggetto microscopico, ad esempio un elettrone, la posizione e la velocità non sono più ben definite istante per istante come nella meccanica classica, quello che conta è la misteriosa funzione d'onda. L'elettrone non ha più una posizione ben precisa, ma ha una

certa probabilità di essere trovato in una regione dello spazio. Così nascono gli orbitali atomici, delle specie di "nuvole di probabilità" che oggi studiamo nei corsi di chimica. Ma dalle probabilità dell'equazione di Schrödinger alle misure dei sistemi quantistici si

L'equazione differenziale alla base della meccanica quantistica ha come oggetto di studio la funzione d'onda.

passa attraverso una procedura che vede coinvolto uno dei problemi più seri, anzi il problema, della meccanica quantistica, il cosiddetto postulato della misura, che ha spinto Schrödinger a inventare il celebre paradosso del gatto.

Il problema della misura

L'equazione di Schrödinger di solito ha più di una soluzione per la funzione d'onda – anzi, capita che ne abbia un'infinità – ed esse convivono in una sovrapposizione di stati: per quanto strano possa sembrare, un elettrone può trovarsi "sia qua che là". Quando però effettuiamo una misura non osserviamo mai una sovrapposizione di stati, bensì uno stato preciso: l'elettrone viene visto qua o là! Prima di effettuare la misura possiamo solo calcolare le probabilità che il sistema si trovi in uno stato piuttosto che in un altro, ma dal momento della misura esso si troverà nello stato che abbiamo osservato. Si dice che la funzione d'onda "collassa" nello stato misurato. Questa è l'essenza del famosissimo problema della misura.

Ma come viene risolto nella meccanica quantistica standard? Nei fatti non è risolto, ma trasformato in un postulato: il postulato della mi-

Il gatto di Schrödinger è diventato il paradigma del problema della misura. sura afferma che nel processo di misura la funzione d'onda collassa nello stato misurato. Questa risposta non soddisfa tutti: com'è possibile che non ci sia una spiegazione fisica alla base del collasso? A quale scala il micro-mondo quantistico diventa il nostro macro-mondo classico? Proprio da qui nascono le varie interpretazioni della meccanica quantistica.

Il gatto di Schrödinger

Per far capire ai suoi colleghi quanto fosse strana la meccanica quantistica applicata a un sistema macroscopico, Erwin Schrödinger inventò in un famoso articolo del 1935 un esperimento mentale che vede un gatto chiuso in una scatola assieme a una sostanza radioattiva che rappresenta il sistema quantistico [1]. La sostanza radioattiva si trova in una sovrapposizione di stati: semplificando, c'è una probabilità del 50% che emetta o non emetta radiazione dopo un tempo diciamo di 10 minuti, ma come spiegato si determina in quale dei due stati si trova solo nel momento in cui si effettua la misura, e nel frattempo è in entrambi gli stati. Nell'esperimento del gatto, se la radiazione viene emessa, si aziona un meccanismo che rompe una fiala con del veleno con conseguente morte dello sfortunato gatto. Ma poiché lo stato è determinato dalla misura, trascorsi i 10 minuti, prima di aprire la scatola lo stato non è ancora determinato (l'apertura della scatola corrisponde alla misura). E quindi, in quel momento, coerentemente con il fatto che la sostanza si trova in una sovrapposizione di stati,



Il paradosso del gatto di Schrödinger nacque per spiegare quanto strana fosse la nuova teoria quantistica.

la risposta alla domanda "che fine ha fatto il gatto?" è che il gatto è *sia vivo che morto,* uno zombie-gatto!

Il gatto di Schrödinger è diventato il paradigma del problema della misura e dopo quasi cent'anni la comunità scientifica sta ancora discutendo sulla soluzione del paradosso. Non che non ci siano proposte: anzi, ce ne sono sin troppe! Alcune di esse assumono che le onde e le particelle esistano entrambe in natura: semplificando, la particelle "cavalcherebbero" le onde andando dove queste le guidano (interpretazione de Broglie-Bohm). Si arriva fino all'interpretazione "dei molti mondi": ogni volta che viene eseguita una misura il mondo si divide, e ogni mondo realizza una delle possibilità. In questa interpretazione c'è dunque un mondo in cui il gatto è vivo e un altro in cui il gatto è morto. Il capostipite di questa interpretazione è Hugh Everett III.

Queste due tipologie di interpretazioni, benché affascinanti, offrono almeno per ora poco appiglio a dei fisici sperimentali come noi: c'è poco da misurare per confermare una delle due interpretazioni, in quanto le previsioni sperimentali sono identiche in linea di massima a quelle della meccanica quantistica standard. C'è però un'altra via, non un'interpretazione, bensì una modifica radicale della meccanica quantistica: i cosiddetti modelli di collasso dinamico.

I modelli di collasso della funzione d'onda

I modelli di collasso risolvono il problema della misura all'origine, modificando l'equazione di Schrödinger. Il motivo matematico dell'esistenza della sovrapposizione di stati è che l'equazione è di un tipo chiamato "lineare": i modelli di collas-

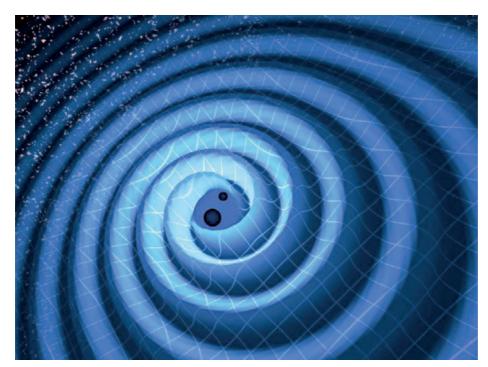
I modelli di collasso risolvono il problema della misura all'origine, modificando l'equazione di Schrödinger. so propongono allora di aggiungere all'equazione termini non lineari e stocastici.

I nuovi termini devono essere però aggiunti con criterio: non si possono contraddire le evidenze confermate della meccanica quantistica. Da una parte bisogna preservare proprietà quantistiche ben note delle particelle – quali l'interferenza dei fotoni o degli elettroni, una manifestazione implicita della sovrapposizione di stati – dall'altra i termini in più devono provocare il collasso della funzione d'onda evitando la sovrapposizione di stati negli oggetti macroscopici, che devono essere ben localizzati e non stare "sia qua che là". Il collasso deve essere dunque amplificato dal numero di particelle contenute nell'oggetto: per poche particelle il collasso deve avvenire in un tempo lunghissimo, mentre per un oggetto macroscopico, composto di un numero enorme di particelle, deve essere praticamente istantaneo.

I nuovi termini rispecchiano queste richieste. Modelli di collasso sono stati introdotti sin dagli anni '60 da Karolyhazy; sviluppati ulteriormente da Diósi, Ghirardi, Rimini, Weber, Pearle e Bassi, solo per citare alcuni autori, tali modelli fanno previsioni sperimentali diverse rispetto alla meccanica quantistica standard, offrendoci dunque la concreta possibilità di verificarli.

Fra le classi di modelli di collasso ce n'è una legata alla teoria della relatività generale di Einstein, il collasso gravitazionale, particolarmente interessante perché lega due domini della fisica in apparenza lontanissimi. Vediamo in breve come funziona: una sovrapposizione di stati implica che un sistema quantistico si trovi in due posizioni diverse; questo implicherebbe a sua volta, tenendo conto della relatività generale, che due geometrie dello spazio-tempo siano in sovrapposizione. Ma, sostiene Penrose, la relatività generale non è una teoria quantizzabile, dunque non accetta sovrapposizioni e quindi la funzione d'onda collassa in una e soltanto una delle posizioni.

Il meccanismo alla base del collasso non è ancora noto, verrà probabilmente svelato da una futura teoria. I modelli di collasso gravitazionale sono infatti modelli empirici, che hanno al loro interno dei parametri da fissare sperimentalmente. Un modello analogo di collasso gravitazionale è stato proposto da Lajos Diósi: nella sua versione l'equazione contiene sia un termine quantistico (Schrödinger) che uno di gravità classica (Newton). Il modello di collasso gravitazionale prende dunque il nome di Diósi-Penrose (modello DP).



Riuscire ad accordare la meccanica quantistica e la relatività è uno dei problemi aperti della fisica.

Questi modelli hanno il pregio di essere sperimentalmente verificabili ed è proprio questo che abbiamo fatto nei laboratori sotterranei del Gran Sasso.

La misura della radiazione spontanea

Nella visione di Penrose la sovrapposizione di stati è instabile e "decade" in un tempo stimato, molto simile a quello già suggerito da Lajos Diósi. Quanto più grande è la massa dell'oggetto, tanto più velocemente avverrebbe il collasso, spiegando così perché non osserviamo mai in realtà stati in sovrapposizione di oggetti macroscopici come un gatto o un pianeta, mentre li vediamo per particelle come gli elettroni. Il collasso indurrebbe una diffusione casuale per cui ogni particella carica dovrebbe emettere una caratteristica, seppur debole, radiazione elettromagnetica.

Il gruppo dei teorici della collaborazione, guidato da Angelo Bassi assieme a Sandro Donadi e Lajos Diósi, ha calcolato il tasso della radiazione emessa da elettroni e protoni negli atomi della materia, in funzione della tipologia di atomo. Il gruppo sperimentale, guidato da Catalina Curceanu, composto anche da Matthias Laubenstein e

Kristian Piscicchia, ha eseguito una misura della radiazione con un apparato sperimentale installato nei laboratori sotterranei del Gran Sasso, i quali si trovano nella galleria che unisce L'Aquila a Teramo, lunga poco più di 10 km.

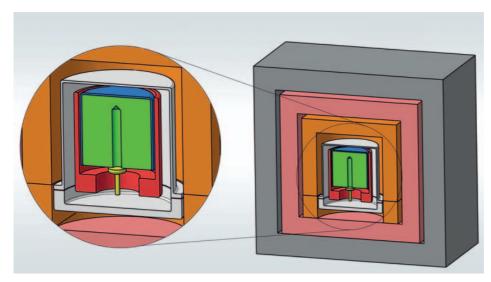
All'interno di questi laboratori, sotto 1400 metri di montagna, la radiazione cosmica che arriva dall'Universo è ridotta, essendo assorbita dalla roccia, di un fattore circa un milione: ecco dunque il perché del "silenzio

cosmico"! Qui un apparato misura la radiazione spontanea prevista dai modelli di collasso gravitazionale con un rivelatore di germanio ultra-puro, circondato da strati di materiali quali rame e piombo, a loro volta ultra-puri, per isolarlo dalla radiazione ambientale (dovuta ai decadimenti nucleari dell'uranio presente ad esempio all'interno delle rocce). Con questo apparato ultra-sensibile abbiamo misurato la radiazione emessa dal germanio stesso e dai materiali che lo circondano per due mesi, agosto 2014 e agosto 2015. Lo spettro di radiazione ottenuto è stato poi analizzato con un programma che tiene conto sia della componente della radiazione che è spiegata da

residui di materiali radioattivi presenti nel nostro apparato, sia della radiazione spontanea attesa dai modelli di collasso. I circa 70 eventi non spiegati dai residui di materiali radioattivi rappresentano una radiazione net-

Le misure nel silenzio cosmico escludono la teoria DP nella sua formulazione originale.

tamente inferiore a quanto previsto dal modello DP, un nuovo record in questo tipo di studi. La nostra misura esclude così di fatto la teoria DP



L'apparato sperimentale alla base della misura della radiazione spontanea.

nella sua formulazione originale, decenni dopo la sua proposta.

Abbiamo pubblicato questo risultato in un articolo sulla prestigiosa rivista *Nature Physics* [2], che ha suscitato un notevole interesse, visto anche il recente premio Nobel per la Fisica di Roger Penrose: il nostro articolo si è posizionato nella top 10 per il 2020 di due importanti siti di divulgazione scientifica [3, 4].

Il futuro del gatto di Schrödinger

Ci si può chiedere se questo risultato metta la parola fine ai modelli di collasso del tipo DP, nei quali la meccanica quantistica e la gravità vengono a contatto. Non è così! Anzi, il lavoro serio inizia soltanto adesso, anche nell'ambito di progetti finanziati dall'INFN (VIP), dall'Unione Europea (quali HP2020, FET-TEQ), dalla Foundational

Stiamo
preparando
rivelatori nuovi
e analisi più
raffinate, spingendo
sempre più avanti
la nostra capacità
di testare le nuove
teorie in arrivo.

Questions Institute (FQXi, ICON) e dal Centro Ricerche Enrico Fermi (PAMQ). Da una parte Sir Roger Penrose, con il quale continuiamo a confrontarci in uno scambio continuo di idee, sta lavorando a un possibile modello che non preveda l'emis-

sione di radiazione spontanea. Dall'altra i colleghi teorici stanno sviluppando modelli più sofisticati, che prevedono sì l'emissione di radiazione spontanea, ma in modo alquanto diverso rispetto all'attuale teoria.

Per quanto riguarda l'aspetto sperimentale noi stiamo preparando rivelatori nuovi, elettroniche più sofisticate di lettura dei dati e modelli

più raffinati di analisi statistica, spingendo sempre più all'estremo la nostra capacità di testare le nuove teorie in arrivo. L'idea che il collasso della funzione d'onda sia legato alla gravità rimane di estremo interesse, ma richiederà probabilmente un approccio nuovo, che intendiamo proseguire negli anni a venire.

Siamo dunque sulle tracce felpate del gatto di Schrödinger, che ci guida in questo affascinante percorso, nel silenzio cosmico dei laboratori

sotterranei del Gran Sasso, un ambiente unico al mondo, verso una possibile soluzione del più grande mistero della teoria quantistica, il problema della misura.



INFO

Riferimenti bibliografici

- [1] E. Schrödinger, "Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik", *Naturwissenschaften*, 23, 1935.
- [2] S. Donadi *et al.*, "Underground test of gravity-related wave function collapse", *Nature Physics*, 17, 2021, pp. 74-78.
- [3] D. GRIMM, "Our favorite science news stories of 2020 (non-COVID-19 edition)", *Science*, 18 dicembre 2020.
- [4] "Les 10 articles que vous avez préférés en 2020", Pour la Science, 17 dicembre 2020.

Come funzionano i motori di ricerca

SEO: scopriamo lo strumento più importante del web, tra il dominio di Google e le sfide del mercato.

Intervista di Tommaso Castellani a **Giorgio Taverniti**, divulgatore italiano nell'ambito delle tecnologie digitali, co-fondatore di Search On Media Group.

Molto attivo nel campo della formazione, Giorgio Taverniti promuove un gran numero di iniziative anche gratuite per diffondere in Italia una cultura di internet. La sua specialità è la cosiddetta Search Engine Optimization (SEO), quell'attività che aiuta i siti a essere trovati e messi in buona evidenza dai motori di ricerca come Google. Giorgio, per cominciare può spiegarci come funziona oggi un motore di ricerca?

Il funzionamento dei motori di ricerca è molto complicato, ma possiamo provare a spiegarne in breve il principio. L'obiettivo di un motore di ricerca è cercare di intercettare i bisogni che hanno le persone quando digitano una parola o una frase (la cosiddetta *chiave di ricerca*). Se per esempio digitiamo la parola "cane", Google o un qual-

L'obiettivo di un motore di ricerca è cercare di intercettare i bisogni che hanno le persone quando digitano una parola (la chiave di ricerca). siasi altro motore cercherà di interpretare il probabile significato che stiamo dando alla parola e i probabili contenuti che vorremmo trovare. Cosa vuole che le sia mostrato una persona che cerca "cane"? Un buon motore di ricerca

vorrebbe idealmente essere in grado di interpretare i bisogni di *tutte* le persone sui diversi argomenti che cercano.

In cosa consiste la SEO, Search Engine Optimization?

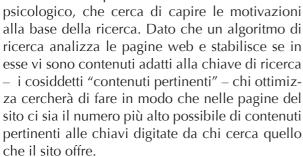
Una pagina web si rivolge a un certo target di riferimento, e il desiderio di chi l'ha messa online è di attrarre il maggior numero possibile di persone interessate al suo contenuto. Il lavoro dell'ottimizzazione SEO consiste in sostanza nel comprendere quello che davvero vuole il proprio target di riferimento, per fare in modo che le sue chiavi di ricerca conducano alle pagine desiderate. Biso-



L'imprenditore Giorgio Taverniti.

gna innanzitutto capire qual è lo scopo per cui è stata creata una pagina e a chi si rivolge, dopodiché si va a studiare quella che viene chiamata la *keyword strategy*, cercando di intercettare i bisogni del proprio pubblico.

C'è quindi un aspetto tecnico, che consiste nel comprendere dove effettivamente ci sono le zone sensibili che il motore di ricerca tiene in considerazione, ma anche un aspetto



Un tema molto caldo è quello delle "bolle" dei social network, gruppi chiusi di persone che fruiscono di contenuti online sempre più allineati al loro punto di vista, talvolta assurdo come nel caso di terrapiattisti, o talvolta persino pericoloso come nel caso di gruppi politici estremisti. Pensa che anche il funzionamento dei motori di ricerca possa favorire questo fenomeno, magari polarizzando i risultati di ricerca sui temi desiderati dall'utente?

Dal mio punto di vista questo tema ha poco a che fare con i motori di ricerca e molto con i social network. Su Google gli interessi individuali della persona che fa una ricerca sono molto poco rilevanti e intervengono solo in una minima percentuale nell'elenco dei risultati. La personalizzazione è relativa soprattutto al contesto geografico: se cerchiamo "pizza" e siamo a Bologna ci vengono ad esempio mostrate le pizzerie di Bologna. In misura minore c'è un certo elemento di perso-



Come funzionano gli algoritmi alla base di Google?

nalizzazione anche nel contesto di significato: se cerchiamo "Barcellona", e dalle nostre ricerche precedenti Google sa che siamo interessati al calcio, è probabile che ci mostri un po' più di risultati

Su Google la personalizzazione è relativa soprattutto al contesto geografico.

relativi alla squadra di calcio del Barcellona rispetto a quelli sulla città di Barcellona, ma in minima parte. Questi elementi di personalizzazione comunque difficilmente riguardano il proprio pensiero, come invece accade pesantemente in social network tipo Facebook o YouTube, quindi non penso che contribuiscano al fenomeno dei gruppi chiusi e della radicalizzazione.

Ci sta dicendo che la ricerca su YouTube funziona in maniera completamente diversa dalla ricerca su Google, malgrado i due siti abbiano lo stesso proprietario?

In effetti Google e YouTube fanno capo allo stesso proprietario, che è Alphabet, ma hanno un "movente" del tutto diverso: quello di YouTube, essendo una piattaforma dichiaratamente di intrattenimento, è proporci il video che ci intrattiene di più. Il fattore centrale dell'algoritmo viene chia-

mato tecnicamente watch time, che non è semplicemente il tempo che l'utente passa su un video, ma su una sessione di visione. In questo modo YouTube crea delle audience con caratteristiche comuni, e sa per esempio che quando iniziamo a guardare un video di solito poi ne guardiamo quattro di fila, di certe durate e con determinati contenuti, e quindi ce li propone. Queste proposte sono basate sugli interessi dell'utente e quindi si crea effettivamente una "bolla". Il motore di ricerca non ha invece alcun interesse a creare la bolla, ma casomai ad ampliare i contenuti dell'utente, cercando di dargli quante più risposte pertinenti possibile.

Però Google deve anche fare un profitto, come tutte le attività imprenditoriali.

Google in effetti è una costellazione di numerose aziende con obiettivi diversi, per cui mi limito a rispondere esclusivamente sul motore di ricerca Google. Il motore ha l'obiettivo di proporsi come il "luogo" dove ci sono tutte le informazioni del mondo. Il profitto è un problema che riguarda altri servizi offerti da Google con obiettivi diversi, molti dei quali compaiono già all'interno del motore di ricerca. Ad esempio, facendo una ricerca su Google ci viene spesso mostrato Google Maps, un servizio che ha un altro scopo, cioè quello di farci da "assistente" nei nostri viaggi. Del resto, talvolta,

Alcune applicazioni come Maps ci fanno da assistenti nei nostri viaggi e spostamenti.

i vari gruppi all'interno di Google possono essere in conflitto fra loro e ciò può produrre degli errori anche abbastanza gravi, per esempio quando vengono messe in rilievo dal motore di ricerca delle informazioni che non meriterebbero di star lì.

Quindi i risultati di ricerca non sono influenzati da servizi a pagamento?

Google ha uno spazio riservato agli annunci a pagamento: chi paga si assicura una posizione in quelle zone ma non può aumentare la sua visibilità nei normali risultati. Certo, dato che i box pubblicitari hanno diverse forme può accadere che l'utente si confonda tra un risultato di ricerca e un annuncio, ma le aree sono ben distinte.

Stiamo parlando di motori di ricerca ma nominiamo quasi sempre solo Google... in effetti ha un dominio incontrastato. Pensa che durerà a lungo? Cosa potrebbe mettere in crisi il suo quasi monopolio del mercato?

Google rimarrà Google almeno per i prossimi cinque anni. Si è conquistato un mercato di dimensioni talmente grandi che anche se arrivasse un nuovo competitor farebbe davvero fatica a sostituirlo. Il mercato dei motori di ricerca non è più quello di un tempo: si dice che internet si evolve

velocemente, ma alcuni settori sono maturi, ed entrare in un mercato maturo non è come entrare in un mercato che sta nascendo.

Del resto, ci sono altre strade per creare problemi a Google, e riguardano il fatto che esiste sia una parte hardware che una parte software. Prendiamo per esempio l'iPhone: in questo caso sia la parte hardware (il telefono) che la parte software (il sistema operativo iOS) sono di proprietà di Apple, mentre in un telefono Galaxy solo la proprietà dell'hardware è di Samsung Galaxy, perché quella software è di Google, proprietario del sistema operativo Android.

La proprietà dell'hardware consente un gran margine di manovra: il proprietario può decidere di cambiare software o semplicemente di cambiare gli accordi commerciali. Per esempio sui prodotti Apple c'è Siri che funziona anche da motore di ricerca e negli Stati Uniti ha



L'internet delle cose contribuisce a rendere la tecnologia a portata di mano, portando sempre più il mondo digitale nella nostra vita quotidiana.

spostato parecchio traffico da Google. Allo stesso tempo i produttori software cercano di avere il controllo su quanti più servizi possibile: Google ha realizzato Android e ci ha piazzato il suo motore di ricerca, ma ha anche prodotto il suo browser Chrome perché sa che la proprietà del browser è un fattore chiave per la sua sopravvivenza. Non essendoci sul mercato competitor che funzionano bene come Google, l'unica strada per accaparrarsi quote di mercato è intervenire tramite sistemi proprietari.

Il dominio di Google ha anche un rovescio della medaglia: cosa succederebbe se ad esempio un eventuale nuovo proprietario cambiasse le politiche aziendali? Possiamo immaginare un Google "truccato" che improvvisamente dà visibilità solo a chi paga?

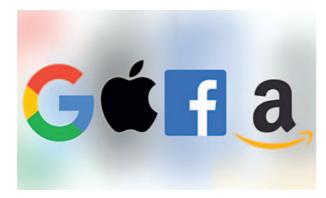
Il rischio che Google cambi le carte in tavola c'è ed è uno dei rischi maggiori del mondo di internet: sono anni che mi batto per dire che ci vorrebbe una tutela nei confronti di siti che si sono ben posizionati su Google. Per molte aziende la sopravvivenza deriva dall'essere ben visibili, e nel momento in cui perdono la loro visibilità rischiano molto. È già successo che in seguito a piccoli aggiornamenti degli algoritmi di Google alcuni siti siano stati improvvisamente declassati, facendo fallire le aziende. Indipendentemente dalla valutazione di merito sul declassamen-

to, bisogna tutelare chi ha messo su un'azienda dal rischio di perdere tutto per l'aggiornamento di un algoritmo. Non sto dicendo che dev'essere garantita la visibilità su Google, ci mancherebbe: deve essere però garantita la comprensione dei meccanismi che provocano un eventuale declassamento. Questo è un tema importante che a mio avviso viene troppo poco preso in considerazione.

La nostra percezione è che internet sia un mondo di grandi compagnie. C'è spazio per i piccoli? Come fanno le start-up a trovare spazio in un panorama dominato da giganti?

Per me vale una regola fondamentale: non copiare i giganti. Per entrare sul mercato l'unica strada è offrire qualcosa che ancora non c'è; inutile mettersi a competere con Google se non si ha qualcosa di veramente innovativo da proporre. Stanno nascendo tantissime tecnologie, come l'internet delle cose, che sicuramente offrono spazi per idee e prodotti nuovi. Bisogna però discutere a livello legale e istituzionale su come rendere il mercato davvero libero.

Molte buone idee hanno avuto le ali tarpate da giganti come Google, Facebook, Amazon, Apple; chi con un'acquisizione, chi con un proprio servizio. Questi quattro giganti sono tutti sotto accusa in America (e due anche in Europa) perché fanno concorrenza sleale e bloccano il mercato.



I giganti che dominano il mercato web.

Per esempio capita che un prodotto, anche un semplice prodotto di consumo, venga messo in vendita su Amazon; poi Amazon si rende conto che è un mercato interessante, replica il prodotto con il suo marchio e lo piazza primo nei risultati di ricerca. Contro questi comportamenti scorretti ci vuole senza dubbio una tutela legale: le istituzioni devono svegliarsi e capire che non ha senso multare queste grandi aziende, che pagheranno solo dopo tantissimi anni, e nel frattempo lasciare che piccole imprese innovative falliscano.

Secondo lei in Italia c'è un'adeguata formazione sui temi di internet? Pensa che le nostre scuole siano all'altezza di un mondo tecnologicamente connesso?

Tra gli eventi organizzati dalla nostra azienda c'è il Web Marketing Festival, con il quale andiamo in giro per l'Italia a insegnare ai ragazzi e alle ragazze il mondo di internet. Il nostro amministratore, Cosmano Lombardo, si spende molto nelle scuole anche di persona. Quello che vediamo è che stanno nascendo moltissime buone pratiche: ad

I giovani, non solo in Italia, hanno voglia di conquistare il mondo della tecnologia, ma la scuola non riesce a dire loro come fare. esempio di recente in una scuola media abbiamo notato che era attivo un corso sull'intelligenza artificiale. Tutto ciò che c'è di buono in Italia, però, accade solo grazie a docenti illuminati che se ne fanno promotori, non perché sia stato messo a sistema a

livello istituzionale. I giovani, non solo in Italia, hanno voglia di conquistare il mondo della tecnologia, ma la scuola non riesce a dire loro come fare; il modo lo devono trovare fuori. Per cambiare questo stato di cose bisognerebbe creare un processo che parta molto dall'alto: partire dal basso funziona solo in parte. Speriamo che il nuovo governo si muova in fretta su questo tema.

Ma è realistico che i docenti riescano a rimanere aggiornati su temi tecnologici che evolvono molto velocemente?

I docenti non devono necessariamente fare tutto da soli. Secondo me è molto importante la sinergia con il territorio. Quasi tutti i promotori dei progetti meritevoli di cui accennavo si sono rivolti a realtà territoriali; in Italia abbiamo moltissime associazioni e aziende che possono aiutare la scuola in questo senso.

Vorrei farle un'ultima domanda, che riguarda il suo rapporto con la sua terra di origine, la Calabria, dalla quale ancora molte persone di successo sono costrette a emigrare. Lei crede che questo fenomeno possa cambiare?

Search On Media Group, l'azienda che ho fondato insieme a Cosmano Lombardo al quale si è poi unito Andrea Pernici, è nata proprio in Calabria. Abbiamo sì una sede a Bologna, ma ogni anno facciamo eventi e attività formative in Calabria, come la summer school del Web Marketing Festival, dove portiamo persone da tutta Italia. Sempre in Calabria organizziamo eventi gratuiti di formazione. La mia terra è una terra di grandi opportunità, purtroppo però ci sono persone poco competenti in posti importanti, come abbiamo visto anche dai fatti di cronaca degli ultimi mesi. Questo vale pure a livello nazionale, e l'Italia intera sta pagando la scarsa competenza della sua classe dirigente; ma in Calabria il fenomeno ha assunto proporzioni drammatiche. Per quanto riguarda il futuro, sarebbe illusorio pensare che gli emigrati dalla Calabria ritorneranno, però confido che nei prossimi anni nasca un movimento diverso, vedo che le nuove generazioni hanno l'energia per cambiare le cose. La Calabria ha bisogno, per così dire, che "passi la nottata", una nottata che purtroppo dura da decenni.



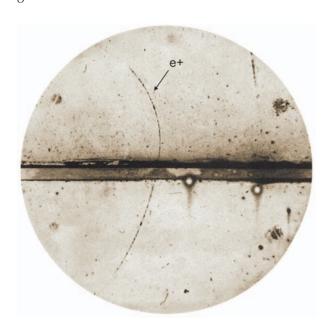
Ascesa nel blu Fotografia di Alessandro Grasso

Fotografie di antimateria: storie di positroni in medicina

Avete mai pensato di trovare antimateria dentro una persona? E che questa possa essere usata contro i tumori? Tutto è possibile, grazie alla PET.

Correva l'anno 1932, nel mezzo delle due grandi guerre e delle scoperte scientifiche che stavano rivoluzionando il mondo, quando Carl David Anderson, fisico statunitense figlio di immigrati

svedesi, scopriva casualmente il positrone. Una particella mai vista prima, con le caratteristiche di un elettrone ma con carica positiva. Il positrone era stato teorizzato qualche anno prima da un giovane Dirac nella formulazione della meccanica



La camera a nebbia usata da Anderson. La traccia della particella ignota presenta le caratteristiche di ionizzazione dell'elettrone ma con un raggio di curvatura direzionato nel verso tipico delle particelle positive: è la scoperta di un elettrone positivo [1]!

Veronica Ferrero, PhD, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Torino quantistica relativistica, la quale prevedeva che per ogni particella dotata di carica dovesse esserci un'altra particella dotata della stessa massa ma di carica opposta: un concetto avveniristico per

un'epoca in cui le uniche particelle note erano il protone e l'elettrone. Con la scoperta del positrone, antiparticella dell'elettrone, si apriva un mondo di antimateria tutto ancora da svelare.

Materia e antimateria quando si incontrano non creano buchi neri pronti a risucchiare tutto ciò che li circonda, ma annichilano, cioè divengono luce; la loro massa è completamente convertita in energia. Se materia e antimateria – elettrone e positrone – si incontrano dentro una persona, la luce che creano può essere fotografata attraverso appositi strumenti, e può dare informazioni essenziali per combattere i tumori. Ma come ci può finire, dell'antimateria, dentro una persona?

La tomografia a emissione di positroni

«Nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma», pronunciava il famoso chimico Antoine-Laurent de Lavoisier un centinaio di anni prima che la radioattività venisse scoperta. E alla base della radioattività vi è proprio un processo di trasformazione spontanea, chiamato decadimento. Ciascuna specie nucleare possiede infatti determinate caratteristiche, tra cui l'emivita, che rappresenta il tempo necessario perché il nu-

mero iniziale di nuclei si sia dimezzato, ossia metà dei nuclei sia decaduto. Prendiamo ad esempio una banana, che contiene del potassio radioattivo: l'emivita di quest'ultimo è però di 1,25 miliardi di anni, e per morire avvelenati da radiazione bisognerebbe ingerire qualche decina di milioni di banane in una volta sola (per farla breve: non abbiate timore di mangiarle).

L'emivita è caratteristica del tipo di specie nucleare considerata e dell'isotopo. Gli isotopi sono atomi dello stesso elemento chimico, aventi un uguale numero di protoni ma diverso numero di neutroni.

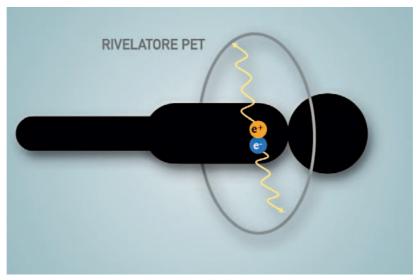
Gli isotopi possono essere stabili o instabili; questi ultimi decadranno sempre con una determinata emivita, attraverso una o più trasformazioni, verso forme più stabili, con l'emissione di qualche tipo di radiazione. Isotopi aventi un eccesso

Isotopi aventi un eccesso di protoni decadranno di avremo una emettendo neutroni. neutrini e positroni.

di protoni decadranno emettendo neutroni, neutrini e positroni. Quintrasformazione in cui viene prodotta antimateria. E se questi isotopi che

decadono emettendo positroni sono immessi all'interno di un corpo... ecco come l'antimateria può finire dentro una persona!

Gli isotopi radioattivi possono infatti essere legati chimicamente, ad esempio, a delle molecole di zucchero, formando un radiotracciante in grado di passare attraverso i tessuti e di cui le cellule, specialmente se con alta attività metabolica, sono golose. Questo legame induce un accumulo degli isotopi radioattivi in determinate aree attive del corpo, come il cuore, o il cervello, ma può soprattutto portare all'identificazione di masse tumorali, le cui cellule sono affamate di zucchero, e che si possono quindi riconoscere grazie alla luce prodotta dall'incontro tra la materia (gli elettroni) e l'antimateria (i positroni emessi nel decadimento).



Funzionamento schematico della tomografia a emissione di positroni: un positrone (e+) prodotto dal decadimento nucleare di un isotopo radioattivo incontra un elettrone (e-), annichilando e producendo una coppia di fotoni (in giallo), che impattano sul rivelatore generando un segnale.

Qualche decennio dopo la scoperta del positrone, veniva ideata la prima tomografia a emissione di positroni: un rivelatore di particelle in grado di fotografare la luce di annichilazione e risalire al punto di origine di questa luce, portando all'individuazione di tumori. Questo rivelatore, chiamato PET (Positron Emission Tomography) viene attualmente utilizzato per uso oncologico, ma anche per studi neurologici, evidenziando per esempio come cambia l'attività metabolica encefalica in determinate malattie neurodegenerative; o per diagnosi cardiache, studiando il flusso sanguigno per verificare il corretto funzionamento del cuore o diagnosticare specifiche patologie.

I rivelatori PET commerciali hanno tipicamente una forma ad anello nel quale il paziente viene posizionato dopo la somministrazione del radiotracciante. Uno degli isotopi più largamente utilizzati in medicina è il fluoro-18, con un'emivita di poco meno di due ore, che viene legato a del glucosio e quindi velocemente consumato dalle cellule ad alta attività metabolica. Così intrappolato, si trasforma, emettendo positroni, nell'isotopo stabile dell'ossigeno-18, che viene normalmente metabolizzato dall'organismo.

Oltre agli usi già citati, inoltre, negli ultimi anni i rivelatori PET sono stati impiegati nel campo della ricerca anche per monitorare i trattamenti di adroterapia.

L'adroterapia

Immaginate un flusso di particelle cariche, come i protoni, convogliati a formare un fascio che, indirizzato contro un bersaglio, lo distrugge. Non è fantascienza, ma un progresso tecnologico raggiunto dopo anni di ricerche e sperimentazioni, che permette di colpire tumori particolarmente resistenti alle terapie tradizionali o situati in aree critiche. Un fascio simile viene prodotto attraverso un acceleratore che, appunto, accelera le particelle facendole percorrere decine di migliaia di chilometri al

secondo, fino a raggiungere un'energia prestabilita. Le particelle vengono poi sparate su un bersaglio in cui, attraverso interazioni elettromagnetiche o nucleari, rilasciano la loro energia arrecando un danno. L'adroterapia si basa proprio sull'uso dei fasci di particelle cariche (definite *adroni*, da cui il nome della terapia stessa) per distruggere le cellule tumorali, riuscendo a colpire il bersaglio con una precisione altissima. Rispetto alla radioterapia tradizionale, basata sull'utilizzo di fotoni, gli adroni hanno il vantaggio di essere più efficaci nel distruggere le cellule tumorali, allo stesso tempo danneggiando il

L'adroterapia si basa sull'uso dei fasci di particelle cariche per distruggere le cellule tumorali, riuscendo a colpire il bersaglio con

una precisione

altissima.

Il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) situato a Pavia è al momento l'unico centro in Italia, e uno dei pochi al mondo, in cui un acceleratore di particelle, chiamato sincrotrone, consente di trattare i pazienti sia con fasci di protoni che con fasci di ioni carbonio. Il sincrotrone

meno possibile i tes-

suti sani circostanti.

è collocato in un bunker del CNAO, dove accelera i fasci di particelle per poi incanalarli verso tre possibili strade, che sfociano in altrettante sale in cui i pazienti ricevono il trattamento. Il numero di sedute di un trattamento dipende da vari fattori, quali la ti-



Il sincrotrone del CNAO di Pavia presenta una forma ad anello e conta 25 m di diametro e 80 m di circonferenza [2].

pologia del tumore, la sua dimensione, la sede in cui è localizzato e il tipo di particella (protone o ione carbonio) utilizzato. Generalmente, si effettua una seduta al giorno, per cinque giorni consecutivi, per un periodo che varia dalle due alle sette settimane.

L'adroterapia vanta sicuramente un'altissima precisione, ma per alcune patologie situate in determinate zone critiche possono insorgere degli imprevisti che portano ad avere un trattamento del tumore non ottimale. Immaginate di stare giocando a bocce con un braccio meccanico. Il braccio meccanico è precisissimo e riesce a colpire il boccino, posizionato a una certa distanza nota, tutte le volte che lancia la boccia, senza mai sbagliare un colpo. A un certo punto arriva una folata di vento imprevista che sposta il boccino. Il braccio meccanico, che non lo sa, continua a lanciare la boccia esattamente come aveva fatto fino ad allora, mancando però di colpire il suo bersaglio, che è stato spostato dal vento imprevisto. Nel nostro esempio, il braccio meccanico è il trattamento di adroterapia, precisissimo ma non onnisciente, mentre il boccino è il volume tumorale, che ha subìto una modificazione imprevista, come un cambiamento morfologico: una riduzione o ingrandimento del tumore, un'infiammazione dei tessuti, che portano ad avere un cambiamento di densità, e di conseguenza una variazione del percorso degli adroni stessi attraverso i tessuti. In particolare, più un tessuto è denso, più gli adroni faranno fatica ad attraversarlo perché troveranno più nuclei con cui interagire, e viceversa.

Il percorso delle particelle cariche nei tessuti riesce quindi a dare, indirettamente, un'informazione sulla morfologia del paziente: per assicurarsi di avere un trattamento del tumore ottimale bisognerà controllare il percorso stesso. Ma come possiamo guardare all'interno del paziente per vedere quanta strada fanno le particelle? La risposta è, ovviamente, usando l'antimateria.

Quando un tumore viene bombardato dalle particelle cariche durante un trattamento, alcuni degli adroni, interagendo con i tessuti, rompono i nuclei dei costituenti principali in quello che viene chiamato processo di frammentazione nucleare. Sostanzialmente, alcuni degli atomi dei tessuti si spaccano, rilasciando protoni e neutroni, e diventano una copia di sé stessi più eccitata: degli isotopi instabili, principalmente di carbonio, ossigeno e azoto, la cui emivita oscilla in un intervallo compreso tra una decina di millesimi di secondo e i venti minuti circa. In questo intervallo di tempo, gli isotopi prodotti dal passaggio del fascio decadono, emettendo positroni: ed ecco di nuovo la comparsa dell'antimateria! Antimateria che annichila e la cui luce si può fotografare, analogamente a quanto visto prima, con un rivelatore PET.

A differenza di quanto visto prima, però, in questo caso non si ha un isotopo radioattivo legato a uno zucchero per la ricerca di masse tumorali; si usano invece i positroni derivanti dal decadimento degli isotopi, originati dalle interazioni tra gli adroni e i tessuti, per vedere dove sono passati gli adroni stessi, così da verificare che il tumore sia stato colpito con precisione. In altre parole, si sfruttano le interazioni che il fascio fa nel suo percorso per vedere dove le particelle sono passate e hanno dato vita agli isotopi radioattivi, attraverso la fotografia di questa attività radio-indotta dal fascio.

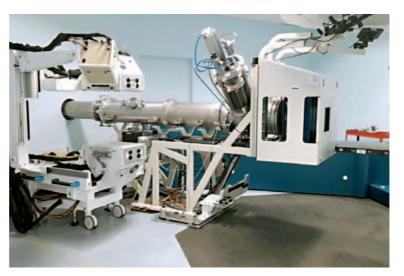
Poiché l'emivita degli isotopi prodotti è relativamente breve (l'emivita più lunga è di una ventina di minuti), la vera sfida nell'utilizzo di un rivelatore PET in adroterapia è fare quello che viene chiamato il monitoraggio del trattamento in tempo reale, ossia durante il trattamento stesso, in modo da acquisire più informazioni possibili dagli isotopi che, invero, stanno decadendo molto velocemente. L'uso di uno scanner commerciale PET, per esempio, essendo situato in una stanza dedicata all'uso diagnostico e non all'interno della sala di trattamento, implica un'acquisizione del segnale dopo la fine del trattamento e non in contemporanea. Il risultato è

la perdita di tutto il segnale dovuto agli isotopi con emivita breve (dell'ordine del secondo o frazione di secondo), che porta ad avere un'informazione meno precisa, senza contare gli effetti biologici-metabolici che alterano il segnale con l'aumentare del tempo. Di conseguenza, una misura ottimale dell'attività radio-indotta dal passaggio del fascio deve essere fatta contemporaneamente all'erogazione del trattamento, il che implica l'uso di un sistema sviluppato appositamente.

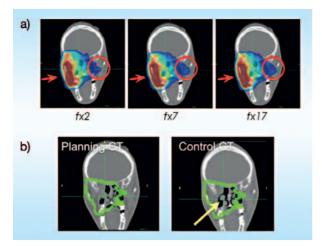
La collaborazione INSIDE (INnovative Solutions for In-beam Dosimetry in hadronthErapy) ha sviluppato un rivelatore PET che, ad oggi, risulta essere l'unico al mondo in grado di monitorare i trattamenti in tempo reale. La PET INSIDE è in fase di sperimentazione clinica e i risultati, di interesse internazionale, serviranno ad aiutare i medici a migliorare e ottimizzare la qualità dei trattamenti.

La PET INSIDE

Il progetto INSIDE nasce dalla collaborazione tra l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, le Università di Torino, Pisa, Roma la Sapienza, il Politecnico di Bari e il CNAO di Pavia. La PET INSIDE è stata sviluppata e costruita dalla collaborazione nella sua interezza, e vanta un sistema unico nel suo genere, capace di dare un'informazione visiva del passaggio degli adroni nei tessuti riuscendo a fare, indirettamente, una fotografia della morfologia del paziente, indicandone eventuali variazioni nel corso delle settimane del trattamento. La PET INSIDE



Una delle sale di trattamento del CNAO, in cui sono visibili, da sinistra a destra, la PET INSIDE, l'ultimo tratto dell'acceleratore di particelle e il lettino su cui viene posizionato il paziente per il trattamento.



a) Distribuzione dell'attività radio-indotta nel paziente dal passaggio del fascio di particelle, misurata in sedute diverse del trattamento (fx2 corrisponde alla seduta numero 2; fx7 alla seduta numero 7; fx17 alla 17). Si può notare come la parte distale dell'attività, evidenziata da un cerchio rosso, si stia allargando con l'avanzare dei giorni, indicando un cambiamento morfologico. La freccia rossa indica la direzione di provenienza del fascio. b) CT di pianificazione (sinistra), effettuata prima dell'inizio del trattamento, e CT di controllo (destra), effettuata in corrispondenza della 21esima seduta. La curva verde indica gli estremi della zona trattata. Il cambiamento morfologico, corrispondente a uno svuotamento di una cavità nasale, è indicato con la freccia gialla [4].

si trova presso il CNAO ed è utilizzata su pazienti trattati sia con protoni che con ioni carbonio.

È importante notare che l'utilizzo della PET IN-SIDE non cambia in nessun modo il trattamento del paziente, poiché il suo funzionamento si basa sull'acquisizione di un segnale (l'attività radio-indotta dal fascio) che verrebbe in ogni caso creato dal passaggio del fascio nel paziente, ed è quindi un elemento passivo. Tuttavia, esso permette la verifica del trattamento, potenzialmente apportandone un miglioramento. L'informazione data dalla PET, infatti, può portare all'individuazione di un cambiamento morfologico, che può comportare una modifica del trattamento in modo tale che questo sia sempre il più possibile ottimizzato.

La sperimentazione clinica della PET INSIDE nasce dopo un intenso periodo di caratterizzazione della risposta del rivelatore con i fasci clinici del CNAO, culminato nel dicembre del 2016 con il monitoraggio di un primo paziente, affetto da un tumore alla ghiandola lacrimale, i cui risultati sono stati pubblicati da *Nature Research* [3]. Nel luglio del 2019 ha avuto inizio la sperimentazione clinica su un gruppo di pazienti selezionati, affetti principalmente da patologie site nella zona testa-collo, con l'intento di verificare la sensibilità della misura clinica e sviluppare un protocollo per assistere i medici nell'identi-

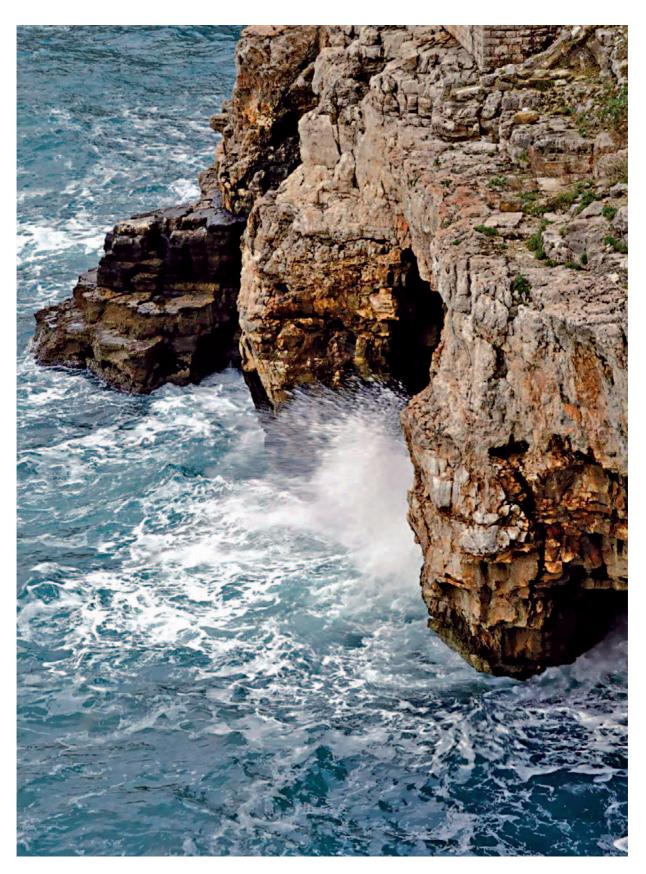
ficazione di cambiamenti morfologici che possono provocare variazioni sostanziali nel trattamento.

Un esempio di attività misurata con la PET INSIDE è riportato nella figura accanto (a). La distribuzione di attività, originata dal passaggio del fascio che nel caso in considerazione è direzionato da sinistra verso destra, è riportata per alcune delle sedute del trattamento (identificate come fx). Se si osserva la distribuzione di attività nei vari giorni, si può notare che vi è un allargamento nella parte distale della distribuzione, evidenziato da un cerchio rosso. Questo allargamento è segno, implicitamente, di un cambiamento morfologico avvenuto durante le sessioni del trattamento; in particolare, un allungamento nel percorso delle particelle indica una diminuzione della densità dei tessuti. In effetti, osservando la CT (Tomografia Computerizzata) che viene fatta di routine prima dell'inizio del trattamento, e confrontandola con una CT fatta a metà trattamento circa (b), si può notare che una delle cavità nasali presenta uno svuotamento, dovuto al fatto che il tumore si sta riducendo grazie alla terapia.

Ci possono, purtroppo, essere dei casi opposti: in caso di tumori aggressivi, con una crescita molto rapida, la distribuzione di attività sarà più corta, poiché, invece di uno svuotamento, si avrà un riempimento, con un conseguente aumento della densità dei tessuti, che interagiranno di più con le particelle del fascio, facendole fermare prima. È in quest'ultimo caso in particolare che l'informazione visiva data dalla PET INSIDE può essere fondamentale: un cambiamento significativo della distribuzione di attività può infatti essere di aiuto ai medici per programmare una CT di controllo e verificare l'andamento del trattamento stesso. Questo è ciò di cui si occupa la collaborazione PET INSIDE: ottenere un'informazione utile per i medici, nella speranza di migliorare e ottimizzare sempre di più i trattamenti, attraverso l'applicazione dei principi fisici alla base della PET in adroterapia. Tutto grazie all'antimateria!

Riferimenti bibliografici

- [1] Carl D. Anderson, "The Positive Electron", *Physical Review*, 43, 6, 1933.
- [2] S. Rossi, "The Status of CNAO", The European Physical Journal Plus, 126, 2011.
- [3] V. Ferrero *et al.*, "Online proton therapy monitoring: clinical test of a Silicon-photodetector-based in-beam PET", *Scientific Reports*, 8, 2018.
- [4] E. FIORINA *et al.*, "Detection of inter-fractional morphological changes in proton therapy: a simulation and in-vivo study with the INSIDE in-beam PET", *Frontiers in Physics*, 2021.



Spumeggiare Fotografia di Stefano Fontana

La fillosfera: i batteri che migliorano la qualità dell'aria

La qualità dell'aria nelle zone fortemente popolate può essere migliorata grazie alle comunità batteriche che popolano le foglie degli alberi, la fillosfera.

Nonostante il miglioramento della qualità dell'aria negli ultimi decenni, circa il 30-40% degli europei vive e lavora in luoghi in cui il livello d'inquinamento atmosferico è ancora pari o superiore a quello delle linee gui-

da dell'Unione Europea. Per cercare di mitigare il problema sono state sviluppate diverse tecnologie chimiche e fisiche al fine di controllare le emissioni di inquinanti in atmosfera direttamente alla fonte, come sistemi di filtraggio e depurazione e sistemi di abbattimento catalitico. Tuttavia, ancora oggi non esiste alcun dispositivo, meccanico o chimico, che riesca ad abbattere completamente le emissioni di tutti gli inquinanti alla fonte.

Qualunque soluzione possa contribuire alla rimozione, anche parziale, di quella frazione di contaminanti atmosferici che giungono fino ai corpi recettori (esseri umani ed ecosistemi) diventa, di conseguenza, potenzialmente di grande importanza. Tale necessità è più sentita nelle zone fortemente urbanizzate dove le emissioni in atmosfera, originate da attività domestiche o industria-

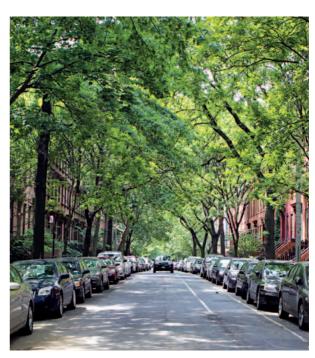
Le foglie sono in grado di intrappolare e incorporare nei loro tessuti diverse sostanze inquinanti disperse nell'aria. li, possono essere ingenti.

Tra le possibili soluzioni tecnologiche che vengono considerate, il ruolo del verde urbano assume particolare rilevanza. È infatti noto ormai

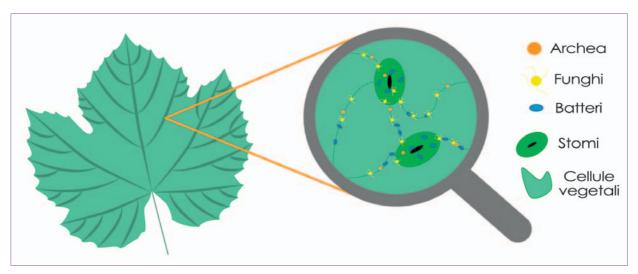
Andrea Franzetti e Isabella Gandolfi,

Università di Milano-Bicocca da tempo che le piante possono contribuire positivamente alla riduzione dei livelli di inquinamento atmosferico, soprattutto in ambito urbano. Ad esempio, le piante possono mitigare le emissioni di gas serra sequestrando

una parte della CO₂ emessa; possono inoltre contribuire alla rimozione dall'atmosfera di alcune frazioni di particolato atmosferico, come quello di dimensioni inferiori ai 10 (PM₁₀) o ai 2,5 (PM_{2.5}) micrometri, che vengono intercettate dalle chio-



Il verde urbano è particolarmente importante per migliorare la qualità dell'aria.



I microrganismi che popolano la fillosfera (© iGEM-Wikimedia).

me. Infine, è noto che le foglie sono in grado di intrappolare sulla loro superficie, e poi incorporare nei loro tessuti, diverse sostanze inquinanti disperse nell'aria. Tuttavia, questa capacità è stata finora descritta e modellizzata esclusivamente in base a meccanismi puramente fisici o chimici, sottovalutando la possibilità che anche processi di tipo biologico possano svolgere un ruolo in questo importante fenomeno di rimozione dei contaminanti.

La fillosfera

Il comparto vegetale più rilevante nell'abbattimento degli inquinanti è la cosiddetta fillosfera, termine con il quale si identificano le parti aeree delle piante, costituite in gran parte dalle foglie. I recenti progressi tecnologici nel campo della biologia molecolare hanno permesso di scoprire che la fillosfera ospita comunità microbiche ricche e diversificate, dominate da batteri e funghi. I batteri, in particolare, ne sono i principali colonizzatori, con una densità media compresa fra 1 e 10 milioni di cellule per ogni cm² di superficie fogliare. Questa densità comporta un'abbondanza complessiva pari allo stratosferico numero di circa 10²6 (cioè un numero a 26 zeri) cellule batteriche sulla fillosfera globale [1].

L'interesse per la microbiologia della fillosfera non è nuovo, ma all'inizio era focalizzato esclusivamente sugli agenti patogeni delle piante, in particolare quelle di interesse alimentare. Al contrario la vita e l'ecologia degli agenti non patogeni sono state molto meno studiate, sebbene possano svolgere funzioni importanti. I batteri della fillosfera possono infatti rivestire numerosi e diversificati ruoli nell'ecologia della pianta. Ad esempio, possono proteggere i loro ospiti dalle infezioni dei patogeni, oppure produrre ormoni promotori della crescita vegetale contribuendo così a migliorare la salute della pianta e la produzione di biomassa.

Dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico, i batteri della fillosfera risultano particolarmente interessanti: recenti studi hanno dimostrato che alcuni di essi, una volta isolati dalla pianta e coltivati in laboratorio, possiedono la capacità di utilizzare come fonte di carbonio alcuni idrocarburi volatili e semivolatili. Gli idrocarburi sono composti chimici formati solo da carbonio e idrogeno, frequentemente presenti nell'aria come contaminanti. La capacità di questi batteri di degradare completamente gli idrocarburi indi-

ca che il microbiota della fillosfera contiene una ricca, e in gran parte inesplorata, gamma di enzimi in grado di promuovere la degradazione efficiente di inquinanti organici presenti nell'aria. Se questa capacità dimostrata in laboratorio si mantenesse anche quando i batteri sono sulle foglie, la fillo-

I batteri della
fillosfera coltivati
in laboratorio
possiedono la
capacità di
utilizzare come
fonte di carbonio
alcuni idrocarburi
volatili e
semivolatili.



Campionamento di PM10 al Parco Nord di Milano.

sfera potrebbe giocare un ruolo importante nella mitigazione dell'inquinamento atmosferico, contribuendo alla riduzione della concentrazione di contaminanti nell'aria [2].

Il fillobiorisanamento

Il fillobiorisanamento dell'aria, cioè lo sfruttamento delle capacità di biotrattamento dell'aria da parte di microrganismi della fillosfera, ha un grande potenziale per il trattamento dell'inquinamento atmosferico e apre una nuova prospettiva di bonifica.

Diversi fattori giocano a favore dello sviluppo di tecnologie di fillobiorisanamento. Importante è la collocazione spaziale dei batteri della fillosfera, all'interfaccia tra la foglia e l'atmosfera, che li pone nella posizione ideale per avere accesso

Il fillobiorisanamento sfrutta i microrganismi della fillosfera per il trattamento dell'inquinamento atmosferico e apre una nuova prospettiva di bonifica. ai contaminanti dispersi in aria. Inoltre, come abbiamo visto, il numero di batteri complessivamente ospitati dalla fillosfera è enorme grazie all'estesissima area coperta dalle foglie a livello globale. In più, in contrasto con le tecnologie attualmente disponibili, questo sistema potrebbe offrire una soluzione sostenibile, economica ed ecocompatibile ai problemi di inquinamento dell'aria sia al chiuso (inquinamento indoor) che all'aperto (inquinamento outdoor). Questa tecnologia risulterebbe particolarmente utile in ambito urbano, soprattutto in aree fortemente trafficate o nel caso di siti produttivi collocati all'interno di siti contaminati, nei quali è necessario impedire che i lavoratori siano esposti alle sostanze inquinanti per via inalatoria.

Lo sviluppo di una tecnologia di fillobiorisanamento richiede diverse fasi. Prima di tutto è necessario descrivere la complessità della fillosfera. Sebbene alcuni tipi di batteri siano comuni nella fillosfera di differenti specie vegetali, in generale piante diverse ospitano comunità batteriche diverse sulle loro foglie. Molti studi hanno infatti indicato che la pianta ospite svolge un ruolo molto importante in questo senso selezionando attivamente i batteri che vivono e proliferano sulle proprie foglie.

Inoltre, anche altri fattori legati alla biologia e all'ecologia della pianta, come l'età delle foglie o la posizione di queste all'interno della chioma, possono giocare un ruolo nella differenziazione dei batteri ospitati dalla fillosfera. Specie vegetali diverse collocate nello stesso sito possono ospitare comunità batteriche che differiscono tra loro più di quanto differiscano le comunità microbiche ospitate dalla stessa pianta in siti diversi [3]. Infine, queste comunità batteriche sono fortemente influenzate anche da altri fattori ambientali e climatici – tra cui l'esposizione ai raggi UV, l'inquinamento, la concimazione azotata, le limitazioni d'acqua e le escursioni termiche - così come da fattori geografici, legati alla distribuzione della specie vegetale in questione.

Per tutti questi motivi, quindi, anche il potenziale di biotrattamento potrebbe differire per ciascun tipo di pianta considerato e per ciascun sito. Al fine di poter correttamente individuare le pian-







Foglie di leccio (sinistra), magnolia (centro), tiglio (destra).

te più adatte per successivi sviluppi applicativi di fillobiorisanamento è quindi necessario effettuare, per ogni area geografica interessata, una preliminare caratterizzazione ecologica e funzionale delle comunità batteriche della fillosfera di differenti specie vegetali. Parallelamente, è spesso opportuno isolare dalla fillosfera alcuni ceppi batterici in grado di degradare i principali contaminanti organici volatili riscontrati in atmosfera. In questo modo si può creare una collezione di isolati batterici che siano degradatori efficaci di inquinanti organici sulla superficie fogliare e si siano già adattati alla vita su tale supporto.

Questa collezione o libreria batterica costituisce una riserva potenziale per un successivo utilizzo finalizzato al potenziamento di sistemi piante-batteri dedicati al fillobiorisanamento. Si può ipotizzare, infatti, di sviluppare piante inoculate con opportuni batteri e sfruttarne le caratteristiche al fine di usarle per il trattamento di composti e concentrazioni realistiche di contaminanti dell'aria.

Negli ultimi anni l'Università di Milano-Bicocca e l'Università di Perugia hanno preso parte congiuntamente al progetto SINERGIA (Fillobiorisanamento: utilizzo delle interazioni piante-batteri come Strumento INnovativo pER il trattamento bioloGIco di inquinanti volatili per la sicurezzA negli impianti produttivi), finanziato dall'Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL). Per questo progetto sono state individuate le città di Milano e Terni come siti di riferimento per lo studio delle potenzialità del fillobiorisanamento. In seguito a una valutazione delle specie arboree più diffuse nei parchi urbani delle due città e della loro attitudine a sopravvivere in ambienti contaminati, sono stati identificati come oggetto di studio alberi come il cedro dell'Himalaya, il platano, il tiglio, la magnolia per il solo sito di Milano e il leccio per il solo sito di Terni.

Prove sul campo

La caratterizzazione ecologica e funzionale della fillosfera delle piante selezionate consente di costruire un database ampio e di grande importanza, che descrive le potenzialità delle varie specie arboree di ospitare e supportare l'azione batte-

rica di degradazione dei contaminanti atmosferici. L'insieme dei risultati del progetto suggerisce di focalizzare future applicazioni del fillobiorisanamento verso l'utilizzo di piante sempreverdi. Queste ultime – cedro, magnolia, leccio – possiedono delle comu-

Conviene focalizzarsi su piante sempreverdi, che possiedono delle comunità batteriche sostanzialmente stabili nel tempo.



Cedri dell'Himalaya al Parco Nord di Milano.

nità batteriche sostanzialmente stabili nel tempo seppur con lievi differenze stagionali. Tuttavia, all'interno di quelle comunità, le popolazioni di batteri capaci di degradare alcuni tra i principali inquinanti organici presenti in atmosfera sono risultate essere più abbondanti in inverno.

È interessante notare che i livelli di PM₁₀ e di diversi contaminanti organici sono risultati quantitativamente molto simili per Milano e Terni, con valori massimi nelle stagioni invernali e minimi in quelle estive. Pertanto, la scoperta che i batteri degradatori sono più abbondanti sulle foglie proprio quando i contaminanti atmosferici raggiungono i valori più elevati, consente di ipotizzare che tali batteri possano realmente dare un contributo in termini di mitigazione dell'inquinamento atmosferico.

Le foglie degli alberi di magnolia hanno mostrato le capacità potenziali delle loro comunità batteriche di degradare nel corso dell'anno un idrocarburo modello chiamato naftalene, la molecola usata spesso per proteggere gli abiti dalle tarme che va sotto il nome commerciale di naftalina. La quantità di naftalene accumulato sulle foglie durante la stagione invernale è circa pari a quella che i batteri sono in grado di degradare nello stesso periodo di tempo. Sembrerebbe quindi che sia la pianta che i batteri da essa ospitati abbiano la stessa importanza nel processo di rimozione degli inquinanti dall'atmosfera suggerendo che, in am-

bito urbano, la biodegradazione dei contaminanti atmosferici ha probabilmente un impatto elevato [4]. Tuttavia, a causa della scarsità di dati ad oggi disponibili, è difficile fornire stime precise del contributo complessivo alla rimozione degli inquinanti atmosferici da parte dei sistemi piante-batteri. Il progetto SI-NERGIA rappresenta quindi un contributo importante per creare una base conoscitiva per lo sviluppo futuro delle tecnologie di fillobiorisanamento.

Il fillobiorisanamento è dunque un campo di ricerca e applicazione estremamente promettente che richiede la collaborazione di diverse discipline scientifiche quali la chimica dell'atmosfera,

l'ecologia microbica, la fisiologia delle piante e l'ecologia del paesaggio. Molta ricerca di base sarà ancora necessaria per comprendere i processi fisici, chimici e biologici alla base dell'interazione tra inquinanti, piante e microrganismi e ottimizzarla. Le applicazioni reali sono però già possibili e vedono l'interesse crescente di diverse figure professionali, dai pianificatori urbani agli architetti e ai gestori del verde urbano.

Riferimenti bibliografici

- [1] S.E. LINDOW, M.T. BRANDL, "Microbiology of the phyllosphere", *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 2003, pp. 1875-1883.
- [2] N. Weyens *et al.*, "The role of plant–microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants", *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 2015, pp. 25576-25604.
- [3] J.A. VORHOLT, "Microbial life in the phyllosphere", *Nature Reviews Microbiology*, 10, 2012, pp. 828-840.
- [4] A. Franzetti, I. Gandolfi et al., "Plant-microorganisms interaction promotes removal of air pollutants in Milan (Italy) urban area", *Journal of Hazardous Materials*, 384, 2020.



Primo piano Fotografia di Antonello De Girolamo

Il dialogo tra muscoli e cervello: perché l'esercizio fisico ci fa stare bene

La terapia del movimento è importante: l'esercizio fisico stimola la memoria, contrasta la demenza senile e stimola le funzioni cognitive, riduce lo stress e migliora l'umore.

Uno stile di vita sedentario si accompagna a una serie di disturbi più o meno intensi che nel tempo peggiorano e causano difficoltà della circolazione sanguigna, perdita della massa

muscolare e della flessibilità delle articolazioni, problemi cardiaci e respiratori, aumento del peso corporeo e malattie correlate come il diabete. Tutti i nostri organi funzionano meno efficacemente perché non ricevono l'adeguato apporto di ossigeno e nutrimento: inizia un lento decadimento fisico che porta a un'ulteriore diminuzione del movimento e trascina l'organismo in una spirale discendente.

Al contrario, l'esercizio fisico moderato e regolare preserva l'organismo nella sua struttura e nelle sue funzioni. È simile alla manutenzione che ci preoccupiamo di fare per gli utensili e le macchine che adoperiamo abitualmente ed esercita effetti benefici sui sistemi cardiovascolare, respiratorio e muscolare; l'attività fisica favorisce la circolazione contrastando il deposito di grassi (che indurirebbe le pareti dei vasi), tonifica cuore e muscoli sostenendone la contrattilità, distribuisce ossigeno a tutti gli organi e tessuti ottimizzandone il funzionamento, promuove poi l'eliminazione di tossine e prodotti di scarto del metabolismo evitandone l'accumulo. Questi effetti macroscopici sono noti e molto studiati.

La pratica regolare dell'attività fisica ha anche effetti benefici più sottili, che chiunque la esercita conosce almeno in parte, stimolando le funzioni del

Agnese Mariotti, Webster University, Ginevra cervello, proteggendone la struttura e mantenendone la salute: qualsiasi attività fisica moderata che non sottopone a sforzi ritenuti troppo intensi migliora l'umore, rilassa, dà un senso di appagamento.

Un effetto meno evidente ma dimostrato da un crescente numero di studi scientifici è sulle funzioni cognitive: l'attività fisica modula diverse aree del cervello, promuovendo la memoria e le funzioni esecutive, cioè la capacità di valutazione e di pianificazione e l'apprendimento. Misurando la memoria e la capacità esecutiva prima e dopo l'attività fisica è stato trovato che l'esercizio fisico preserva e stimola le funzioni intellettive e mantiene la stabilità emotiva, contrastando ansia, stress e depressione.

Oggi cominciamo a capire i meccanismi fisiologici e molecolari di questi effetti. Numerose tecniche di visualizzazione del cervello (*brain imaging*) permet-

tono di individuare i cambiamenti prodotti dall'attività fisica sulla sua struttura, come il numero di neuroni e le loro connessioni, e sulla sua attività, come quali aree cerebrali generano, trasmettono e ricevono impulsi nervosi. Studi

L'esercizio fisico preserva e stimola le funzioni intellettive, contrastando ansia, stress e depressione.

molecolari su modelli animali e su esseri umani stanno rivelando la biochimica dei meccanismi,



L'esercizio fisico è importante per migliorare il nostro benessere.

identificando le molecole rilasciate in risposta all'esercizio fisico che agiscono sul cervello rendendolo più efficiente.

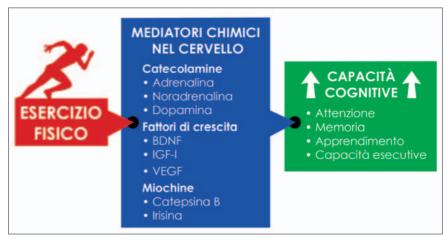
Esiste quindi un asse di comunicazione muscoli-cervello: i primi, contraendosi, inviano messaggi al secondo, mantenendolo in uno stato ottimale e spesso migliorandone le sue funzioni intellettive e di "orchestratore" dell'organismo. Da un punto di vista evolutivo, questa comunicazione permette di coordinare l'attività cerebrale con quella musco-

lare. Così in una persona che fugge da un pericolo, le funzioni cognitive vengono esaltate per permettere di reagire prontamente, evitando ostacoli, memorizzando dettagli, interpretando elementi ambientali.

Esercizio fisico e cervello

Per studiare gli effetti dell'esercizio fisico sulle funzioni cognitive e l'umore si utilizzano test neuropsicologici che valutano la capacità di attenzione e pianificazione, la memoria, le capacità di comunicazione attraverso il linguaggio e di elaborazione di informazioni.

Sono disponibili anche tecniche di osservazione diretta del cervello che consentono di definirne la struttura, di misurare l'estensione di determinate regioni e di correlare l'esercizio fisico a variazioni di volume, e quindi variazioni del numero di neuroni e delle loro connessioni in particolari aree cerebrali.



I mediatori chimici stimolati dall'esercizio fisico sostengono le funzioni cognitive contrastandone il declino con l'avanzare dell'età.

Il primo effetto della pratica regolare dell'esercizio fisico è il miglioramento della funzione cardiovascolare e di quella respiratoria: praticare un'attività fisica fa aumentare il flusso sanguigno e l'apporto di ossigeno al cervello; inoltre, stimola l'angiogenesi (la produzione di vasi sanguigni), migliorando l'ossigenazione e la distribuzione di principi nutritivi e mediatori chimici. In particolare, l'angiogenesi avviene nell'ippocampo, che è parte di un insieme di circuiti cerebrali (il sistema limbico) che regolano il comportamento e integrano emozioni, umore, senso di sé, memoria. L'ippocampo svolge un ruolo importante nella formazione di nuovi ricordi e l'angiogenesi indotta dall'esercizio fisico regolare facilita la produzione di neuroni, promuovendo la memoria e contrastando l'insorgere di malattie degenerative nell'età senile.

Effetti simili sono stati riscontrati anche nella corteccia prefrontale, sede delle nostre più alte funzioni cognitive, che regola i processi decisionali, l'apprendimento e le capacità verbali, pianifica il comportamento, formula concetti e strategie. Potenziando il sistema ippocampo-corteccia prefrontale, l'esercizio fisico migliora la capacità critica e decisionale. Parallelamente all'aumento di volume, l'esercizio fisico accresce la connettività tra aree cerebrali distanti tra loro, rendendo più efficace la comunicazione e promuovendo le funzioni esecutive.

I cambiamenti strutturali e funzionali richiedono un certo tempo per realizzarsi e sono stati osservati in seguito a esercizio fisico aerobico praticato regolarmente a moderata intensità per almeno 90 minuti a settimana per sei mesi o a intensità bassa per un anno. In particolare, uno studio ha dimostrato migliorate connettività e funzioni cognitive in un gruppo di persone di età superiore ai 55 anni che hanno camminato per 40 minuti tre volte a settimana a media/bassa intensità per un anno.

La stimolazione delle funzioni cognitive è mediata da neurotrasmettitori e ormoni, molecole come la noradrenalina, l'adrenalina e la dopamina che stimolano la corteccia prefrontale, quella sensoriale e l'ippocampo, facilitando la memoria, aumentando il livello di attenzione e favorendo la capacità di reazione e l'apprendimento. La dopamina agisce anche sul sistema limbico, influisce sulle emozioni e attiva il circuito della ricompensa, che genera una sensazione di piacere e di soddisfazione accrescendo la motivazione a continuare, in questo caso, l'esercizio fisico. È però probabile che la stimolazione eccessiva del circuito della dopamina causi una sorta di "dipendenza" dall'esercizio fisico, che porterebbe a compierlo in modo esagerato, indebolendo l'organismo.

L'esercizio fisico migliora le funzioni cognitive anche grazie a un'azione protettiva e trofica sul cervello, esercitata in parte da mediatori chimici – neurotrasmettitori, miochine, fattori di crescita – che impediscono la degenerazione dei neuroni cerebrali, ne promuovono la proliferazione e la

> connettività in aree specifiche e regolano il processo di infiammazione. I livelli di fattore neurotrofico derivato dal cervello (BDNF o brain-derived neurotrophic factor) aumentano durante l'esercizio fisico in risposta a varie molecole secrete durante la contrazione muscolare. Il BDNF stimola la proliferazione e il differenziamento (maturazione) neuronali e promuove la plasticità sinaptica, facilitando lo scambio di messaggi tra neuroni. Il BDNF agisce soprattutto nell'ippocampo e sostiene la memo-



Camminare per 40 minuti tre volte a settimana migliora le funzioni cognitive anche nei soggetti adulti o anziani.

ria e i processi di apprendimento; impedendo o rallentando la perdita di neuroni nell'ippocampo, il BDNF ne contrasta l'atrofia associata a diverse forme di demenza senile.

Esercizio fisico e umore

L'attività fisica riduce i livelli cerebrali di chinurenina, una molecola che si accumula nel cervello in caso di stress psicofisico e provoca neuroinfiammazione e sintomi depressivi contrastando stress e depressione. L'esercizio fisico – quando svolto a un'intensità accettabile per chi lo pratica – migliora quindi l'umore. L'esperienza e l'analisi scientifica dimostrano come già po-

L'esperienza e
l'analisi scientifica
dimostrano come
pochi minuti
di camminata
abbiano effetti
calmanti e
analgesici.

chi minuti di camminata o di corsa abbiano effetti calmanti e analgesici, riducano l'ansia e generino una sensazione di piacere e benessere.

In certi casi l'attività fisica provoca la cosiddetta "euforia del corridore", uno stato di esalta-

zione mentale e psichica che talvolta si verifica in chi pratica la corsa di lunga distanza. Il benessere indotto dall'esercizio fisico spinge a praticarlo con regolarità, facendolo diventare un'abitudine: si va a camminare, a correre o in palestra per la sensazione di piacere che si proverà al termine dello sforzo fisico e che, in certi casi, arriva a creare una dipendenza patologica. Il miglioramento

dell'umore e lo stato di analgesia che accompagnano l'esercizio fisico derivano dall'attivazione di circuiti molecolari specifici che interagiscono sinergicamente e sono mediati dagli oppioidi e cannabinoidi endogeni, dalla dopamina e dalla serotonina.

Esercizio fisico e stress

L'esercizio fisico regola la risposta allo stress. Di per sé, è un agente potenzialmente stressante e dunque fa aumentare i livelli degli ormoni dello stress, glucocorticoidi (cortisolo) e catecolamine (adrenalina e noradrenalina). Al termine dell'esercizio fisico, la risposta allo stress si riduce rapidamente ristabilendo l'equilibrio fisiologico, o omeostasi, basale.

In realtà, se praticato a livelli sostenibili, l'esercizio fisico volontario non è un fattore di stress mentale: causa uno stimolo fisico, ma è percepito tuttalpiù come una sfida, affrontata sulla spinta di motivazioni personali di vario tipo. Gli effetti sul cervello di neurotrasmettitori, miochine, fattori di crescita rilasciati con l'attività fisica si integrano con la risposta allo stress, modulandola. La generale attività cerebrale che ne risulta è dunque diversa da quella che si manifesta in una vera situazione di stress psicofisico.

Inoltre, l'attività fisica regolare allena allo stress, di qualsiasi origine, permettendo di sopportarlo meglio e aumentando la resilienza. Infatti, le persone con una più elevata capacità aerobica presentano livelli sanguigni più bassi di cortisolo e una regolazione migliore della frequenza cardiaca in risposta allo stress, che si accompagna a maggiore calma, minore tendenza all'ansia e depressione, umore migliore e maggiore resilienza.



La contrazione muscolare migliora le funzioni cognitive e aumenta la resilienza allo stress e il benessere.



La ginnastica dolce o la respirazione ritmica favoriscono uno stato di rilassatezza.

Il rilassamento e gli effetti benefici sull'umore già si verificano svolgendo attività fisica di breve durata e bassa intensità e si consolidano con la pratica regolare dell'esercizio fisico. Numerosi studi hanno dimostrato la diminuzione di ansia, stress e sintomi depressivi in persone che hanno partecipato a diverse attività: fisica, aerobica – la camminata veloce per alcuni minuti – o di rafforzamento muscolare e miglioramento della flessibilità. Anche forme di ginnastica dolce come il Tai-chi, gli esercizi posturali o la respirazione ritmica hanno effetti ansiolitici e favoriscono uno stato di rilassatezza.

Da un punto di vista psicologico, l'esercizio fisico distrae e migliora la percezione e l'immagine di se stessi spostando l'attenzione al proprio corpo e allo sforzo compiuto e abbandonando pensieri che generano preoccupazione. Da un punto di vista fisiologico questo corrisponde a una regolazione dell'attività cerebrale: i circuiti che mediano tensione e paura vengono riequilibrati procurando sollievo e benessere. Questo stato mentale può anche favorire l'attivazione spontanea di circuiti nervosi legati alla memoria che fanno riaffiorare e combinano tra loro immagini e sensazioni associate a esperienze svariate e apparentemente disgiunte. Forse è anche grazie a questo rimescolio non controllato di impressioni e spunti che l'attività fisica praticata a intensità piacevole - anche il semplice camminare – fa spesso nascere nuove idee.

La terapia del movimento

Se è chiaro che l'esercizio fisico ha un ruolo importante nel mantenere la funzionalità del cervello e nel prevenire il decadimento cognitivo, si può pensare di utilizzarlo come terapia? Diversi studi stanno testando questa possibilità per il trattamento di ansia, disordini dell'umore, depressione, disturbo post-traumatico da stress e declino cognitivo e i primi risultati mostrano che l'esercizio aerobico, anche in sessioni singole di solo una ventina di minuti, riduce la sensibilità all'ansia. Se praticato regolarmente per 30 minuti tre volte a settimana in presenza di un supervisore è utile nel trattamento della depressione maggiore e, combinato con altre terapie, riduce i sintomi del disturbo post-traumatico

da stress e diminuisce il rischio di malattie neurodegenerative come il morbo di Alzheimer. Vari studi stanno valutando la possibilità di includere programmi mirati di attività fisica nella terapia di queste malattie.

È evidente che il tipo, la durata e l'intensità dell'esercizio fisico vadano scelti opportunamente a seconda del disturbo da trattare e delle caratteristiche di ciascun individuo. Questo vale anche per la prevenzione. Se è consigliabile sforzarsi di praticare attività fisica, in genere i benefici maggiori si ottengono quando l'intensità dell'esercizio è considerata piacevole e non causa ansia, eccessiva fatica e stress. Poi, con la pratica regolare, la motivazione e la forma fisica molto probabilmente aumenteranno e con esse il desiderio di muoversi di più.

Nella società attuale, pertanto, l'esercizio fisico assume ulteriore valore come mezzo di prevenzione e almeno in parte terapeutico per le malattie associate all'invecchiamento e allo stress e per i disturbi dell'umore.

Riferimenti bibliografici

[1] C.H. HILLMAN *et al.*, "Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition", *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 2008, pp. 58-65.

[2] T. McMorris *et al.*, "Beyond the Catecholamines Hypothesis for an Acute Exercise-Cognition Interaction", in *Exercise-cognition interaction*, Academic Press, London 2015, pp. 65-103.

[3] K. MIKKELSEN *et al.*, "Exercise and mental health", *Maturitas*, 106, 2017, pp. 48-56.

[4] B.K. Pedersen, "Physical activity and muscle-brain crosstalk", *Nature Reviews Endocrinology*, 15, 2019, pp. 383-392. [5] T. Re, G. VITIELLO, "Non-linear Dynamics and Chaotic Trajectories in Brain-Mind Visual Experiences during Dreams, Meditation, and Non-Ordinary Brain Activity States", *OBM Neurobiology*, 4, 2, 2020.



Una nuova collana con testi brevi e vivaci, quasi una *lectio magistralis*, dove grandi voci della cultura italiana riflettono sui principali temi dell'attualità.





in libreria e online





Il laboratorio di fisica ai tempi della DAD e oltre

di Armando Pisani

Anche prima della didattica a distanza (la famigerata DAD) non era facile spiegare i concetti e le leggi della fisica agli studenti. Molto spesso ci si limita a enunciare leggi e svolgere esercizi che sono poco più che applicazioni di matematica in contesti vari: per i ragazzi, le formule e le leggi scritte sulla lavagna non sono molto diverse dai geroglifici sulle mura di un tempio egizio. L'obiettivo di mostrare come queste formule siano la chiave per comprendere il funzionamento dell'Universo è legato all'attività di laboratorio. Purtroppo il laboratorio spesso non è facilmente accessibile, per diverse cause. Inoltre, la raccolta e l'analisi dei dati può risultare così lunga e laboriosa che lo studente perde per strada sia l'obiettivo da raggiungere che, soprattutto, la motivazione. Se aggiungiamo anche la didattica a distanza, ecco che l'esperienza di laboratorio diventa quasi impossibile.

In questo articolo descriverò invece un'attività di laboratorio che sto conducendo da diversi anni con i miei studenti e che non ha sofferto molto a causa della DAD.

La video-analisi

Uno dei primi fenomeni fisici che si studiano in un corso di fisica alla scuola secondaria superiore è il moto. Per un'attività di laboratorio, un'idea chiave viene dalle foto che trovate su testi di fisica anche piuttosto vecchi (ma tutt'altro che sorpassati) come il testo del PSSC del 1960, in cui si usavano spesso foto multiflash per mostrare la posizione di un corpo in moto in tempi diversi, che si potevano usare per costruire la legge oraria e quindi analizzare la fisica alla base del fenomeno.

Già all'inizio del Novecento la fotografia futurista si occupa di riprodurre il movimento in foto: ricordiamo Anton Giulio Bragaglia, che nel 1911

scrive Fotodinamismo futurista, dove analizza le opere di E.J. Marey e E. Muybridge; e non possiamo non citare Giacomo Balla e Umberto Boccioni. Più recentemente, in ambito della didattica della fisica, l'idea di utilizzare dei filmati anziché delle foto è stata applicata dal prof. Joel Brian (Texas A&M University), che racconta di aver usato nel 1990 un videoregistratore per filmare il moto di un pallone e poterlo poi riprodurre leggendo una cassetta VHS su uno schermo TV. Purtroppo la qualità del fermo immagine era tale da rendere inutilizzabile questa tecnica per oggetti anche poco veloci. Ma oggi abbiamo a disposizione diversi dispositivi, cellulare incluso, che consentono di produrre filmati con un elevato FPS (fotogrammi al secondo) e di utilizzare la video-analisi per studiare la cinematica e la dinamica del moto.

In una delle esperienze base sul moto rettilineo, gli studenti del mio corso realizzano con una videocamera o il cellulare un filmato di un trenino giocattolo che si muove sul tavolo. A fianco della traiettoria seguita dal trenino, mettiamo un righello, una di quelle aste bianche e rosse che si trovano in quasi tutti i laboratori di fisica. In tal modo il filmato, che contiene già di suo la scansione temporale tra un fotogramma e l'altro (un trentesimo o un sessantesimo di secondo), ha anche la scala lineare dell'immagine e consente di convertire la posizione del trenino all'interno del fotogramma in unità prefissate, ad esempio in metri.

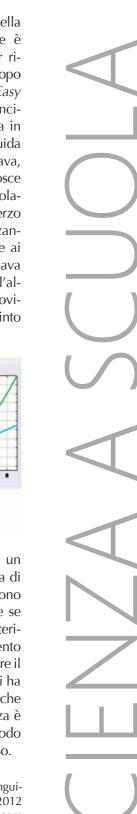
Per poter rilevare la posizione del trenino in ogni fotogramma, ovviamente, c'è bisogno di un software adatto. Il panorama attuale offre diverse

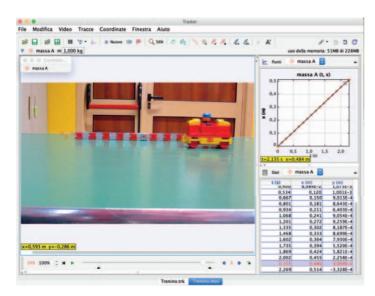
soluzioni. Secondo me, la più conveniente è *Tracker* del prof. Doug Brown, che è un genio della didattica. *Tracker* è un software leggero, molto completo, gratuito e che fun-



INFO

ziona in diversi sistemi operativi. Può essere appreso in poco più di mezz'ora e in rete si trovano diversi manuali e tutorial. Anch'io ho caricato sul





sito opendante.com diverse lezioni che mostrano come scaricare, installare e utilizzare *Tracker* per diverse esperienze. Nella figura in alto potete vedere una delle schermate della sessione di lavoro sull'analisi del moto del trenino. Nella finestra in alto a destra è possibile notare la legge oraria, la relazione tra la posizione *x* in ordinata e il tempo *t* in ascissa. Risulta ben evidente che i dati si distribuiscono lungo una retta: uno dei principali risultati dell'analisi di questo tipo di moto.

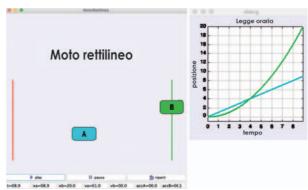
Credo sia importante sottolineare che i ragazzi possono scaricare *Tracker* da soli e, con il filmato realizzato a scuola, possono facilmente ripetere l'analisi dei dati a casa. I passi fondamentali nella video-analisi sono semplici e in sequenza, quindi ho preparato una bozza che aiuta i ragazzi a scrivere la relazione sull'esperienza di laboratorio. Questo ha reso molto meno problematica la stesura della relazione: un compito che, prima, presentava un ostacolo di non poco conto per i ragazzi.

Infine è importante sottolineare la ricaduta didattica di questa attività. Ho provato a proporre ai ragazzi in una prova scritta di fisica due problemi: uno riguardava un'applicazione dei principi della dinamica trattata alla lavagna, ma non in laboratorio; un secondo esercizio riguardava un'altra applicazione che era stata trattata sia alla lavagna che in laboratorio con *Tracker*. Il numero di risposte corrette al secondo problema è stato il triplo del numero delle risposte corrette al primo problema. Mi sembra un'indicazione significativa sull'efficacia didattica della video-analisi.

Dal laboratorio alla simulazione

Una volta mostrate in azione le leggi della cinematica, un'altra attività interessante è quella di produrre una simulazione per ricreare un processo reale. A questo scopo utilizzo un altro software che si chiama *Easy Java Simulations* (EJS) creato dal prof. Francisco Esquembre dell'Università di Murcia in Spagna. Si tratta di uno strumento che guida l'utente a produrre delle simulazioni, in Java, di fenomeni fisici anche se non si conosce perfettamente il linguaggio Java. In particolare, lo scorso anno, con una classe del terzo anno del liceo linguistico in DAD, utilizzando Google Meet, in circa 3 ore insieme ai

ragazzi abbiamo realizzato una simulazione in Java della gara tra due veicoli: uno in moto uniforme, l'altro in moto accelerato. La parte divertente era indovinare (o calcolare) quale dei due veicoli avrebbe vinto la gara, date le condizioni di partenza.



Ho poi arricchito la simulazione inserendo un grafico che mostra in tempo reale la legge oraria di entrambi i veicoli (figura in alto). I ragazzi si sono mostrati molto interessati e collaborativi, anche se lavorare da casa e su computer diversi con caratteristiche differenti ha rallentato un po' lo svolgimento del lavoro. Ma riuscire a capire che possono istruire il loro computer a eseguire determinate operazioni ha avuto un bell'impatto sui ragazzi. Insomma, anche nelle condizioni difficili della didattica a distanza è possibile trovare gli strumenti per esplorare in modo divertente le leggi che regolano il nostro Universo.

Armando insegna matematica e fisica presso il Liceo Linguistico e Scientifico "M. Buonarroti" di Monfalcone. Dal 2012 le sue lezioni sono disponibili sul sito www.opendante.com e sul canale YouTube *OpenDante*.

La breve, lunga storia dei vaccini anti-Covid

di Vincenzo Palermo

La storia di questo numero è recente e non è ancora finita, ma ho deciso di raccontarla perché è un buon esempio di come la scienza influenzi, e sia influenzata, dall'economia e anche dalla fortuna.

Di solito lo sviluppo di un vaccino richiede anni se non decenni; eppure, i vaccini anti-Covid che stiamo usando sono stati sviluppati in un tempo eccezionalmente breve. La società Moderna aveva un prototipo del vaccino già QUARANTADUE GIORNI dopo la pubblicazione del codice genetico del virus! Come hanno fatto ad essere così veloci? Qual è il trucco?

Il trucco non c'è, perché quei quarantadue giorni sono solo la conclusione di una ricerca durata oltre quarant'anni.

La storia comincia nel 1976 quando Katalin Karikó, una giovane studentessa ungherese di 21 anni, assiste a un seminario sui possibili usi medici dell'acido ribonucleico o RNA.

L'RNA è il parente meno famoso dell'acido deossiribonucleico o DNA. Il nostro codice genetico, le istruzioni che descrivono in dettaglio come siamo fatti, è salvato nel DNA, nel nucleo di ogni cellula, così come il software di un computer è salvato nell'hard disk. Per trasformare il software in hardware le informazioni del DNA devono essere copiate e trasportate fuori dal nucleo. Questo lavoro è svolto dall'RNA messaggero (mRNA), corti filamenti che escono dal nucleo e sono poi letti da macchine cellulari le quali, seguendo tali istruzioni, assemblano proteine formando muscoli, occhi, capelli e qualsiasi altra cosa che ci compone o ci fa funzionare.

Da tempo gli scienziati sognano di "scrivere" pezzi di DNA artificiali e inserirli nel nucleo delle nostre cellule per curare malattie di ogni tipo. Tuttavia, far entrare DNA nel nucleo è difficile; inoltre, ogni istruzione scritta nel DNA rischia di diventare permanente, nel bene o nel male.

L'RNA sembra avere qualche vantaggio sul DNA. I frammenti di RNA, per essere trascritti, non devono entrare nel nucleo ma solo dentro la cellula e dopo un certo tempo vengono degradati, senza rischio di mutazioni permanenti.

Katalin Karikó decide di dedicare la sua carriera a sviluppare nuove terapie mediche a base di RNA; non sa di intraprendere un viaggio lunghissimo e travagliato.

Nel 1985, per lavorare alla Temple University di Philadelphia, Katalin parte per gli Stati Uniti insieme al marito, la figlia di appena due anni e un orso di peluche dove sono nascosti tutti i loro risparmi, 900 sterline ottenute vendendo la loro auto al mercato nero. Nel 1990 è all'Università della Pennsylvania.

Il sogno americano però rischia di diventare un incubo: Katalin non ottiene risultati, non riesce a vincere finanziamenti per la sua ricerca e la sua carriera si blocca. Nella scienza, tra una bella idea e la sua applicazione ci sono sempre tanti problemi pratici; l'RNA è ideale per trasportare informazioni, ma è anche malvisto dal nostro sistema immunitario, che per difendersi lo attacca impedendone qualsiasi uso pratico.

Nel 1996 l'università le riduce lo stipendio e la declassa. Nello stesso periodo Katalin scopre di avere un cancro e il marito rimane bloccato fuori dagli Stati Uniti, in Ungheria, per motivi di visto. Katalin pensa seriamente di abbandonare la carriera scientifica, ma fortunatamente decide di continuare. Nel 1997 si allea con Drew Weissman, un altro ricercatore dell'Università della Pennsylvania, e i due condividono un po' di fondi per continuare le ricerche. Continuano a lavorare e a pubblicare per anni, senza particolare successo. Nel 2005 finalmente la svolta, dopo vent'anni di lavoro. I due sostituiscono un componente dell'RNA, l'uridina, con la pseudouridina, una molecola molto simile; questo basta per ingannare il sistema immunitario che ora lascia passare l'RNA senza attaccarlo.

L'articolo non provoca particolare eccitazione nel mondo scientifico; ogni mese si pubblicano migliaia di articoli scientifici, molti dei quali con risultati promettenti ma che non riescono a raggiungere grande impatto. Grazie a questo risultato, però, le terapie a RNA appaiono sul radar delle aziende biotech. Nel 2010 Karikó e Weissman vendono i diritti di sfruttamento a una piccola azienda tedesca, la BioNTech, che vuole sfruttare l'RNA per nuove terapie. Più o meno nello stesso periodo

Katalin Karikó, vice-presidente di BioNTech (© Wikipedia; Pixabay/G. Altmann).

Derrick Rossi, un postdoc dell'Università di Stanford, fonda una compagnia che chiama Moderna, con lo scopo di usare terapie basate su RNA per vaccini e altri farmaci.

Ma la strada è ancora lunghissima. Moderna raccoglie finanziamenti per un totale di circa un miliardo di dollari, che le permettono di portare avanti i costosissimi test necessari per sviluppare la tecnologia. Anche BioNTech, seppur con meno fanfara, continua a lavorare tramite collaborazioni con grandi aziende farmaceutiche. Tuttavia, ogni tentativo di sviluppare terapie a base di RNA sembra fallire e non si arriva a nessun prodotto commerciale.

Nel 2020 invece tutto cambia. L'epidemia da Sars-COV-2 dilaga come un incendio in ogni nazione, niente sembra fermarla. L'unica speranza sembra quella di sviluppare un vaccino che, però, richiede tempo. Bisogna isolare il virus, trovare il modo di ucciderlo o indebolirlo, e iniettare questo virus attenuato nel corpo di persone sane, con tutti i rischi e le precauzioni che ne derivano.

Grazie al lavoro degli anni precedenti, Moderna e BioNTech si trovano in una posizione ideale per sviluppare rapidamente un vaccino. Infatti, con la tecnologia RNA non serve avere il virus ma solo un codice di computer che descriva la sua sequenza genetica, che tra l'altro, nel caso del coronavirus, è scritta proprio su RNA. Questa sequenza è pubblicata molto presto, a gennaio 2020, quando ancora l'epidemia è al suo inizio. Di tutta la sequenza i ricercatori usano solo il pezzo per costruire la proteina spike, la chiave fondamentale con cui il virus si attacca alle cellule. Creato un fi-

lamento di RNA con queste istruzioni, lo includono in nanoparticelle che riescono a passare tutte le difese del corpo umano, a entrare nelle cellule e far loro produrre la proteina spike che, una volta riconosciuta, induce la risposta immunitaria.

Si tratta di una soluzione rivoluzionaria perché, in un certo senso, non fornisce al corpo un vaccino, ma solo la lista di istruzioni per assemblarlo. È un approccio intrinsecamente sicuro perché nessuna parte del virus originale è contenuta nel vaccino, e anche le istruzioni rese disponibili servono solo a produrne un pezzo che, privo del resto del virus, è innocuo.

Ad oggi, i vaccini di Moderna e BioNTech (coprodotto da Pfizer) sono stati somministrati a milioni di persone riducendo drasticamente la mortalità dovuta alla malattia Covid. La rivoluzionaria tecnologia mRNA, dopo essere stata sdoganata e testata sulla spinta dell'emergenza Covid, potrà forse essere usata per tante altre applicazioni, dalle malattie rare al cancro.

Katalin Karikó è diventata vice-presidente di BioNTech nel 2013 lasciando, finalmente, il suo po-

sto sottopagato all'università. Speriamo che ora sia soddisfatta nel vedere che il suo lavoro ha portato dei frutti. Ci sono voluti "solo" 45 anni; spesso, nella scienza, ci vuole pazienza.



INFO

Vincenzo è il direttore dell'Istituto ISOF del CNR, dove monta assieme atomi e molecole per creare nuovi materiali. Ha pubblicato La versione di Albert (2015), un libro sulla vita e le idee di Albert Einstein, e Newton, la mela e Dio (2016) sulla vita di Isaac Newton.

Fritz Zwicky e la scoperta della "materia oscura"

di Francesco Cappellani

Fritz Zwicky è stato un grande fisico, anzi il primo astrofisico della storia della scienza, per decenni praticamente dimenticato: solo verso la fine del secolo scorso è stato riscoperto e finalmente valorizzato per le sue brillanti intuizioni, confermate nel tempo con misure sempre più accurate, all'inizio senza nemmeno correlarle ai suoi lavori pionieristici.

Fritz nasce nel 1898 a Varna, in Bulgaria; qualche anno dopo la famiglia ritorna nel paese d'origine paterno, Glarus, in Svizzera. Entra nel 1914 al Politecnico di Zurigo dove studia matematica e fisica discutendo la tesi con il grande scienziato Hermann Weyl; nel 1922 consegue il dottorato sotto la guida di Peter Debye, futuro Nobel nel 1936. Si trasferisce nel 1925 negli Stati Uniti, al Caltech, per lavorare con il premio Nobel Robert Millikan.

In quegli anni viene ultimata la costruzione del telescopio del Monte Palomar, dotato di uno specchio gigantesco di cinque metri di diametro. Zwicky sceglie allora di dedicarsi all'astronomia e nel 1942 è nominato professore di astrofisica al Caltech; parallelamente, lavora come direttore della ricerca dal 1943 al 1961 per l'Aerojet Engineering Corporation sviluppando progetti di propulsione per jet e razzi. Nel 1972 ottiene la Medaglia d'oro della Royal Astronomical Society per i suoi eccezionali contributi alla cosmologia. Muore a Pasadena nel 1974 e sarà sepolto a Mollis, in Svizzera.

Prima di parlare delle scoperte scientifiche di Zwicky, occorre accennare al suo difficile carattere che gli alienava la simpatia dei colleghi e alla fine ha influito anche sull'attenzione che veniva dedicata ai suoi lavori. Priyamvada Natarajan, della Yale University, lo descrive come «un uomo irascibile, aggressivo e testardo, con un modo di fare rude e sprezzante che irritava i colleghi [...]. Molti tolleravano a fatica la sua supponenza».

Zwicky conia persino il termine spregiativo «spherical bastard» spiegando che certi indivi-

dui vanno definiti così in quanto "bastardi a tutto tondo". Mentre lavorava con il fisico Walter Baade, si riferiva a lui chiamandolo ripetutamente "cretino" oltre che spherical bastard, al punto che Baade temeva di essere ucciso da Zwicky! L'astrofisico imprecava ininterrottamente con gli assistenti, ricoprendoli di insulti e mescolando termini scientifici con parole oscene. Jesse Greenstein, direttore del Dipartimento di Astronomia del Caltech, ricorda che era dotato di una mente assolutamente straordinaria, ma era anche indisciplinato e privo di autocontrollo. Il fisico di Princeton Freeman Dyson racconta che «le idee radicali e la personalità combattiva di Zwicky lo ponevano in frequente conflitto con i colleghi del Caltech. Questi lo consideravano pazzo e lui li considerava stupidi».

Agli inizi degli anni '30 del Novecento Zwicky studia i movimenti delle galassie nell'ammasso della Chioma, con l'intento di determinarne la massa usando la fisica newtoniana. Un ammasso, la struttura più massiccia dell'Universo, è costituito da migliaia di galassie che si muovono in ogni direzione, tenute insieme dalla forza di gravità. Osservando il moto delle otto galassie più luminose, Zwicky realizza che all'interno dell'ammasso le galassie si muovono con una velocità enormemente superiore a quella calcolabile considerando l'effetto gravitazionale dovuto alle stelle visibili.

Pubblica questo risultato nel 1933 sugli *Helvetica Physica Acta*, dove ipotizza che nell'ammasso della Chioma – e analogamente nell'intero Universo – debba esistere una *dunkle materie* (materia oscura), i cui effetti gravitazionali possano spiegare quelle velocità elevatissime. Se questa massa oscura fosse confermata, scriveva Zwicky, «arriveremmo alla sbalorditiva conclusione che la materia oscura è presente con una densità molto maggiore rispetto alla materia luminosa».

Tuttavia l'attenzione degli astrofisici per il suo lavoro è praticamente nulla. Circa 40 anni dopo,

Vera Rubin, nel determinare la massa di singole galassie a spirale, si accorge che il loro moto è molto più veloce rispetto a quello calcolabile considerando le stelle visibili di ciascuna galassia, come se subissero un'attrazione gravitazionale maggiore, ma non lo collega con la materia oscura ipotizzata da Zwicky. Nei dieci anni che seguono, il lavoro della Rubin spinge i fisici teorici a creare un modello in grado di spiegare la formazione di tutte le strutture presenti nell'Universo, basato sulla supposta presenza della materia oscura. Il modello è confermato in seguito da molte misure compiute con strumenti sempre più sofisticati. Però cosa sia la materia oscura, che costituisce circa il 26% della materia dell'Universo e insieme all'energia oscura – responsabile dell'espansione accelerata dell'Universo – occupa circa il 96% del cosmo, resta un mistero irrisolto.

Anche se inascoltato, Zwicky prosegue le sue ricerche e nel 1937 pubblica sull'Astrophysical Journal un articolo nel quale spiega che, ammettendo l'esistenza della dunkle materie, gli ammassi che contengono grandi quantità di materia invisibile devono curvare lo spazio-tempo come dettato dalla relatività einsteiniana, e quindi flettere la traiettoria rettilinea dei raggi luminosi, agendo come una "lente gravitazionale".

Con gli strumenti dell'epoca, questa deviazione non era osservabile e solo nel 1987, grazie al telescopio CFHT alle Hawaii, fu possibile confermare la congettura avanzata da Zwicky 40 anni prima.

È curioso notare che nel 1959 F.D. Kahn e L. Woltjer, studiando la Via Lattea e Andromeda, notano che Andromeda "corre" verso la Via Lattea, concludendo dai loro calcoli che per spiegare il fenomeno la massa che attira Andromeda deve includere una grande quantità di materia invisibile. Nella pubblicazione, i due astrofisici sembrano ignorare che questo effetto era stato descritto da Zwicky per l'ammasso della Chioma 25 anni prima, e non lo citano nemmeno nella bibliografia.

Un altro merito di Zwicky è l'identificazione di una nuova classe di oggetti luminosi che battezzò "supernove". Nei primi anni '30 suppone che, in alcune condizioni molto particolari, la zona centrale di una stella possa collassare su se stessa: l'implosione provoca una violenta onda d'urto che ne fa esplodere gli strati esterni portandola alla massima luminosità (fino a 5 miliardi di volte



Il fisico Fritz Zwicky.

quella del Sole), e ne contrae il nucleo centrale a causa dell'enorme pressione della gravità, compattandolo in un nocciolo di neutroni generati dall'accoppiamento degli elettroni atomici con i protoni del nucleo. La densità finale del nocciolo è tale che un cucchiaino di materia peserebbe milioni di tonnellate. Zwicky inizia la ricerca di queste stelle esplose perché sono fondamentali come "candele standard", cioè oggetti di luminosità nota che servono per calcolare le distanze extragalattiche.

A questi studi si affiancano le ricerche per mappare decine di migliaia di galassie; negli anni '60 pubblica con alcuni colleghi i sei volumi del fondamentale Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies.

Le ipotesi di Zwicky sulla materia oscura e sulle supernove, scarsamente considerate all'epoca e ignorate per decenni, si sono dimostrate nel tempo corrette e probabilmente, se non fosse stato inviso a molti scienziati per il suo pessimo carattere, avrebbe potuto avere il giusto supporto per meritare il premio Nobel. Come ha scritto il fisico Michael Turner: «Era molto più avanti rispetto al suo tempo e se lo sei non puoi che essere un tipo strano».

Francesco si è laureato in fisica a Torino nel 1958. Ha lavorato alcuni anni al CNRN per poi trasferirsi al centro della UE a Ispra (VA). Nel 1967 ha conseguito la libera docenza in radioattività. I suoi lavori riguardano la spettroscopia nucleare e molecolare. Ha al suo attivo oltre 100 pubblicazioni.

FISICA? UN GIOCO

Un lungo viaggio

Federico Benuzzi

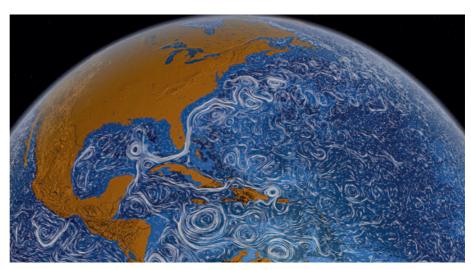


L'evaporazione è un processo endoenergetico: per rompere i legami che tengono insieme le particelle nello stato liquido e farle passare allo stato gassoso serve energia. Si parla, in questi casi, di calore latente e quello dell'acqua è davvero grande! È per questo che la mamma ci diceva, da piccini, di coprirci quando sudavamo: il velo umido che ricopre il nostro corpo quando evapora ci raffredda, con tutte le conseguenze del caso.

Sul nostro pianeta ci sono circa $1.5 \times 10^{18} \text{ m}^3$ di acqua di

cui il 97% è contenuto negli oceani; la loro capacità termica (cioè il rapporto tra calore assorbito e conseguente aumento di temperatura) è circa 800 volte superiore a quella dell'aria: basti infatti pensare che 1 g d'acqua che evapora raffredda 1 m³ di aria di 2 °C! Il clima in generale e il modo in cui la temperatura varia sul globo da regione a regione sono quindi fortemente influenzati dalla distribuzione delle acque e dalla sua circolazione.

L'attrito con i venti, causati a loro volta sia dalle differenze di temperatura che dalla rotazione terrestre, spinge le acque a muoversi, dando origine alle correnti superficiali. Acque che, lungo il loro tragitto, tendono a evaporare, diventando quindi più salate, e a raffreddarsi, contraendosi in volume: in poche parole diventano più dense, sino a sprofondare, originando così quelle conosciute come correnti termoaline. D'altra parte, l'acqua spostata dai venti "crea uno spazio", laddove si origina la corrente superficiale, che viene riempito dalle acque profonde, più fredde, che tendono a risalire. Correnti, quest'ultime, chiamate upwelling e che, a loro volta, risucchiano le acque profonde, generando le controcorrenti: grandi



© NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

spostamenti di acque parallelamente alle correnti superficiali, ma in verso opposto. Correnti superficiali, termoaline, controcorrenti e *upwelling* formano così un ciclo che i più conoscono con il nome di "correnti oceaniche": flussi d'acqua in movimento dentro mari e oceani in grado di percorrere grandissime distanze mentre ridistribuiscono il calore immagazzinato.

Ed è così, per far solo un esempio, che la corrente del Golfo, che si origina in America meridionale e viaggia sin oltre la Scozia, permette il raffreddamento delle regioni del sud del mondo e una mitigazione del clima rigido del nord Europa.

Delicati equilibri, queste correnti, che oggi sono minacciati dall'aumento di anidride carbonica in atmosfera: gli oceani, infatti, sono un importante "deposito" di CO_2 e un suo eccessivo assorbimento potrebbe portare a una stratificazione delle acque con un conseguente blocco delle correnti stesse.

Federico è fisico, insegnante e giocoliere professionista; per Dedalo ha pubblicato *La legge del perdente* (2018) e *Lo spettacolo della fisica* (2021). Per avere informazioni sulle sue attività, divulgative e non: www.federicobenuzzi.com

TERRA, TERRA!

Doline "sismiche" in Croazia

Alina Polonia



I forti terremoti di fine dicembre 2020 in Croazia centrale sono stati causati da movimenti tettonici lungo un sistema di faglie che attraversano il Paese in direzione nord-ovest/sud-est e continuano verso sud in Bosnia ed Erzegovina. La scossa del 29 dicembre, quella a magnitudo maggiore della sequenza sismica (6,2 gradi della scala Richter), è stata preceduta da una serie di terremoti di magnitudo inferiore, risentiti però in tutta la Croazia e nei Paesi circostanti.

Questa intensa attività sismica ha interrotto un periodo di relativa quiescenza durato più di un secolo. Il terremoto precedente nella stessa zona risale infatti al 1909, con una localizzazione epicentrale nella Valle di Kupa. Si tratta di uno dei terremoti più famosi nella storia della sismologia, perché le registrazioni sismografiche di quel terremoto hanno permesso al grande scienziato croato Andrija Mohorovičić di comprendere in modo convincente il meccanismo di propagazione delle onde sismiche all'interno della Terra, e di scoprire il passaggio tra la crosta e il mantello terrestre, evidenziato da una discontinuità sismica che è stata nominata, proprio in riferimento al suo lavoro, discontinuità di Mohorovičić o più semplicemente Moho.

Dopo quel terremoto non si sono registrati altri eventi importanti prima della sequenza del 2020, a dimostrazione del fatto che per ricostruire la storia sismica di molte faglie è necessario studiare la loro attività per tempi sufficientemente lunghi da includere eventi rari e, proprio per questo, ancora più pericolosi.

Una caratteristica interessante di queste ultime scosse è che oltre alle deformazioni del terreno e ai processi di liquefazione avvenuti durante il terremoto si sono anche registrati effetti post-sismici molto particolari, che hanno portato alla formazione di un centinaio di voragini sub-circolari allineate lungo il sistema di strutture tettoniche. I rilievi geologici preliminari suggeriscono che questo fenomeno sia



legato a una complessa interazione tra i processi di deformazione del terreno e la presenza di una falda acquifera molto superficiale. I gas che si sono accumulati nel sottosuolo grazie al terremoto potrebbero aver reagito con l'ossigeno della falda, causando la rapida erosione delle rocce calcaree con sprofondamenti in corrispondenza di vere e proprie doline carsiche.

Lo studio delle relazioni tra attività sismica e concentrazione di gas e di fluidi nel sottosuolo sembra essere una promettente linea di ricerca verso la definizione dei fenomeni precursori di grandi terremoti. Sicuramente, lo studio degli effetti registrati sul terreno in conseguenza dello scuotimento sismico costituisce un'informazione importantissima per gli studi di paleo-

sismologia, il cui obiettivo è ricostruire l'archivio degli eventi più distruttivi di una determinata area. Le doline croate rappresentano la "firma" particolare di questo ultimo evento.



Alina si occupa di geologia presso l'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

HOMO MATHEMATICUS

Napoleone, matematico

Roberto Natalini



Pomeriggio di domenica. L'Homo Mathematicus sfoglia distrattamente alcuni video su YouTube. Ogni tanto apre un video di musica classica, oppure quello di un comico italiano. Di solito salta accuratamente quelli che parlano di matematica, un po' per snobismo, spesso solo per un effetto di saturazione. Oggi però è capitato su un video molto interessante di un matematico del Cnr che parla di un certo Teorema di Napoleone. L'Homo Mathematicus, avendo frequentato la scuola superiore tanto tempo fa e non avendo nessuna passione per i testi di argomento storico, ha solo una vaga idea dei dettagli della vita di Napo-

M

leone, e non gli risultava per niente questa passione per la matematica. L'autore del video invece parla del rapporto di Napoleone con la matematica come se fosse un'ovvietà.

Pare infatti che Napoleone fosse ossessionato dalle costruzioni geometriche con il compasso, forse perché legate a pratiche militari e di disegno della strategia, e a un certo punto della sua vita abbia anche incontrato il matematico italiano Lorenzo Mascheroni, il quale in un suo libro – dedicato proprio a Napoleone – aveva

dimostrato che, sotto certe semplici condizioni, tutte le costruzioni geometriche classiche dei Greci, quelle che potevano farsi con riga e compasso, potevano essere stabilite usando il solo compasso.

Napoleone rimase molto impressionato da questo risultato, al punto da portarsi una copia del libro a Parigi, lasciando così stupiti i suoi amici matematici Laplace e Lagrange, che tutto avrebbero immaginato tranne di sentir parlare di matematica da parte del loro imperatore. E sono attribuiti a Napoleone, ma forse dimostrati da Mascheroni, teoremi sulla deter-

minazione di punti geometrici particolari solo con l'aiuto del compasso.

Quello che viene ora chiamato "teorema di Napoleone" non c'entra nulla con questi e ha un enunciato estremamente semplice, pur non essendo del tutto immediato:

Teorema di Napoleone. Preso un triangolo qualsiasi, si costruiscano i triangoli equilateri esterni su ognuno dei suoi lati. Se si uniscono i baricentri di questi triangoli equilateri viene fuori che il triangolo risultante è di nuovo equilatero.

È uno dei pochi risultati elementari di geometria piana che sia stato scoperto in tempi moderni.

Il video finisce e all'Homo Mathematicus rimane la curiosità di scoprire se veramente Napoleone ha dimostrato questo teorema. Cercando un po' in rete, scopre che questo teorema sembra rientrare nella famosa Legge di Stigler degli eponimi, che dice che nessuna scoperta scientifica o risultato matematico porta il nome del suo vero scopritore.

C'è addirittura un articolo di un certo Branko Grünbaum, "Is

Napoleon's Theorem Really Napoleon's Theorem?", apparso nel 2012, in cui si cerca di rintracciare invano sia la connessione di questo teorema con Napoleo-

ne, sia il nome della prima persona che avrebbe dimostrato il teorema. L'attenzione dell'Homo Mathematicus però ha raggiunto il suo apice, e da qui in poi non fa altro che scemare.



Roberto è un matematico ed è direttore dell'Istituto per le Applicazioni del Calcolo del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

SPAZIO ALLA SCUOLA

Il soffiatore di vetro

Stefano Sandrelli



In questo periodo non facciamo altro che misurarcela, ma la temperatura è un concetto sfuggente. A differenza dello spazio, che misuriamo con il nostro corpo, la temperatura appartiene al mondo delle grandezze fisiche che possono essere considerate tali solo perché esiste uno strumento in grado di misurarle. E qui entra in gioco un inatteso soffiatore di vetro.

Daniel Gabriel Fahrenheit nasce a Danzica nel 1686, giusto un anno prima che Newton si decida a pubblicare i primi tre volumi dei suoi *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (peraltro a spese di Halley, un dettaglio quest'ultimo che mi ha sempre sconvolto). A 15 anni, ecco l'incontro che cambia la vita del giovane Gabriel: funghi velenosi nel piatto. Rispetto alla banale mela di Newton, qui siamo ad alti livelli di drammaticità. I funghi lo rendono infatti orfano e lo spingono a fare due scelte: il commercio e le scienze naturali. A forza di esperimenti sulle tossine fungine, nel giro di poco tempo Gabriel si appassiona alla lavorazione del vetro: la relazione fra le due cose? Nessuna, ma in quanto a itinerari di vita il nostro protagonista opera per salti, strappi e scelte a caso.

Essendo un soffiatore di vetro eccezionale, invece di darsi alla produzione di gadget o di vetrate per edifici religiosi, Gabriel decide infatti di dedicarsi alla costruzione di termometri. La sua intuizione è che si debbano realizzare gusci di vetro nei quali la sostanza che misura la temperatura possa scorrere senza intoppi. Più liscio e puro è il vetro, più la misura è affidabile.

Ci riesce: inventa il termometro ad alcol e quello a mercurio.

Ma è intorno al 1724 che Fahrenheit ha l'idea per la quale ancora oggi si è spinti a chiedersi perché nella vita si debba soffrire inutilmente. Prima definisce lo zero della scala di temperatura come la temperatura a cui fonde una miscela in parti uguali di ghiaccio e cloruro ammonico. Poi il capolavoro: fissa l'altro punto della scala alla temperatura del sangue di cavallo. Come se questa scelta non fosse abbastanza raccapricciante in sé, gli assegna il valore 96.



Capite la perversione? 96 è abbastanza vicino a 100, ma non è 100. Con queste scelte evidentemente sadiche, Fahrenheit definisce l'unità di misura (il grado che chiamiamo con il suo nome, la 96esima parte della scala), condanna l'acqua a fondere a 32 °F ed evaporare a 212 °F e ogni essere umano dei 300 anni successivi a non avere idea se avrà freddo o caldo uscendo in calzoncini corti quando fuori la temperatura è, diciamo, di 93 °F.

Qualche anno dopo, toccherà all'astronomo svedese Celsius mettere le cose al loro posto. Beh, non proprio, in realtà: per ragioni misteriose, assegnerà lo 0 (gradi Celsius, stavolta, °C) alla temperatura di ebollizione dell'acqua e un valore di 100 °C alla temperatura alla quale l'acqua si congela. Giusto per costringere il collega Linneo, qualche anno dopo, a buttar via un po' di tempo per proporre all'Accademia Reale Svedese delle Scienze di scambiare il 100 e lo 0.

Insomma, tra cavalli, funghi velenosi e inversioni di scala, la storia della temperatura fa piuttosto venire la febbre!

Stefano è astrofisico, scrittore e responsabile della didattica e divulgazione presso l'Istituto Nazionale di Astrofisica – Osservatorio Astronomico di Brera.

COSCIENZIAT@



Piano nazionale PNRR: obiettivo –184



Marco Cervino e Cristina Mangia

Ci sono forti resistenze ad attuare velocemente la transizione dal sistema energetico basato sulle fonti fossili a un nuovo sistema basato sulle rinnovabili. Sono resistenze macroscopiche (industrie, finanza e governi) ma anche legate alle abitudini degli abitanti agiati del pianeta.

È allora necessario seguire con attenzione tutte le iniziative importanti che si muovono intorno al tema: quelle internazionali come le conferenze dell'ONU e quelle nazionali come i piani su energia e clima. Tra le iniziative italiane (integrate a quelle dell'Unione europea) sicuramente c'è l'aver destinato a tale transizione una parte degli investimenti resi possibili dal PNRR, il Piano Nazionale di

Ripresa e Resilienza. Si sa, intorno al tema si muovono tanti interessi economici e geopolitici, ma da coscienziat@ dovremmo ricordare che l'obiettivo principale deve essere quello di abbattere le emissioni climalteranti. Fra tutti, un numero: –184, ovvero i milioni di tonnellate di gas climalteranti da tagliare al 2030, rispetto alle emissioni del 2019 (numeri reperibili nell'inventario delle emissioni pubblicato da ISPRA).

Al momento in cui scriviamo sembra assente dal PNRR un metodo (e ne esistono di ragionevoli) che consenta di stimare l'effetto sulle emissioni di qualsivoglia misura o cantiere si alimenterà con i miliardi di euro previsti sulle missioni "Rivoluzione verde e transizione ecologica" e "Infrastrutture per una mobilità sostenibile". Ed è qui che si annida il paradosso: decidere e finanziare un progetto prima ancora di valutare se e quanto sarà in grado di influire sul necessario taglio delle emissioni.

Un esempio specifico fra le misure attese sono gli incentivi per integrare energie rinnovabili e attività agricola. Le proposte sono molte e attrattive per un settore economico che incredibilmente soffre del fatto di non assicurare un buon reddito a chi si occupa di alimentare le persone, attività giustamente definita



© Kyle Pearce-Flickr

primaria. Ci pare importante anche qui esprimere un punto di partenza: il terreno coltivabile deve essere tra i valori principali dell'ecologia e dell'economia; la funzione primaria del terreno è la produzione di cibo per gli esseri umani, nel rispetto rigoroso della conservazione della fertilità e dei cicli biochimici. Co-prodotti come cibo per animali, materiali per le manifatture, energia elettrica o combustibili possono essere sviluppati se e solo se non si compromette la funzione primaria e rispettando livelli minimi di generazione di cibo per ettaro e criteri di rigenerazione del terreno.

Per non svilire le attività del lavoro primario, i patti economici devono premiare la produzione di cibo e sovvenzionare i co-prodotti in modo che siano un'integrazione e non una sostituzione di tale reddito. Non

vorremmo che, come al solito, la leva economica, coadiuvata dalla ricerca di superfici da adibire alla produzione energetica, finisse per togliere alla produzione primaria di cibo un ruolo irrinunciabile.



INFO

Marco e Cristina svolgono ricerche su ambiente e salute presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

LA FORMULA

Portarsi avanti

Tommaso Castellani



le possibili posizioni dei pezzi su una scacchiera, elaborata da Claude

Shannon. Di questo celebre ingegnere e matematico abbiamo già parlato (si veda Sapere 5/2015) a proposito di teoria dell'informazione, disciplina di cui è

W

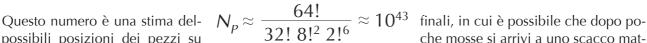
Gli scacchi hanno da sempre avuto un'attrattiva particolare per gli appassionati di intelligenza artificiale: giocarci è considerata di per sé un'attività "intel-

ligente" per l'enorme complessità delle strategie; allo stesso tempo la semplicità delle regole di base li rende un problema trattabile matematicamente.

considerato il fondatore.

Come funziona una macchina che gioca a scacchi? L'idea di Shannon è di sfruttare la velocità di calcolo del computer per vedere cosa succede facendo le mosse successive, e scegliere la migliore. Per ognuna delle nostre mosse ci sono molte possibili risposte dell'avversario, e per ogni risposta ancora molte possibili nostre

nuove mosse, e così via: questo "albero delle mosse" diventa rapidamente di dimensioni enormi. Se 10⁴³ è l'ordine di grandezza del numero di possibili posizioni, il numero di possibili partite è molto più grande: Shannon lo stima dell'ordine di 10¹²⁰ (consideriamo che il numero di atomi nell'Universo è "solo" 1080). A ogni turno del bianco o del nero sono possibili, in media, circa una trentina di mosse: per esempio nella posizione iniziale il bianco ha 20 mosse legali, mentre nella posizione in figura ne ha 37 (e solo una è vincente...). Shannon si rese conto che nessuna macchina avrebbe potuto analizzare tutte le possibili evoluzioni mossa dopo mossa: a un certo punto si sarebbe dovuta necessariamente fermare (tranne nei



che mosse si arrivi a uno scacco matto forzato). A quel punto è necessario

che il computer valuti la posizione risultante in base a vari parametri: ad esempio chi ha più pezzi, chi ha il re più protetto, pezzi più mobili, e così via.

Quando nel 1950 Shannon pubblicò il suo articolo sui programmi per giocare a scacchi non esisteva ancora un computer in grado di implementarli. L'unica vera macchina in grado di giocare era stata

> uno strumento meccanico dei primi del secolo che poteva però affrontare solo finali con pochi pezzi, mentre il celebre automa settecentesco detto "Il Turco" si era rivelato una truffa (un giocatore si nascondeva all'interno). Oggi abbiamo programmi per giocare a scacchi che girano perfino sul telefono, e che funzionano sostanzialmente nel modo illustrato da Shannon. Da diversi anni sono in grado di battere i campioni del mondo umani.

È affascinante che l'algorit-

mo per le macchine che giocano a scacchi sia stato inventato prima delle macchine stesse, così come il computer è stato "inventato" da Turing prima che fosse possibile costruirlo (per inciso, anche Turing scrisse

un programma per giocare a scacchi). Allo stesso modo, oggi abbiamo già algoritmi per computer quantistici sofisticatissimi che ancora non esistono. Il pensiero è sempre più avanti della tecnica.



Tommaso, di formazione fisico, è insegnante, scrittore e divulgatore scientifico. Per Dedalo ha pubblicato: Equilibrio (2013), Il professor Z e l'infinito (2017) e I misteri dell'ipercubo (2020).

MOLECOLE IN CUCINA

Sospensioni per divisione, per costruzione... o per soluzione



Hervé This

Il tema del prossimo Concorso internazionale di cucina nota a nota? Le sospensioni, dispersioni colloidali di particelle solide in un liquido (nel caso di sospensioni liquide) o di particelle solide in un solido (sospensioni solide).

Ad esempio, un frappè (o *smoothie*) è una sospensione ottenuta sminuzzando dei tessuti vegetali in un liquido: lo sminuzzamento li scompone in particelle di dimensioni variabili, dai frammenti più grossi – formati dall'unione di molte cellule – ai semplici residui di pareti cellulari.

Un altro esempio è il purè di verdure: in questo caso, la cottura che precede lo sminuzzamento degrada il collante costituito dalle pareti cellulari, idrolizzando progressivamente le pectine con una reazione detta di beta-eliminazione. Quando si schiaccia la verdura cotta in un liquido (che in molti casi è il latte) si ottiene una dispersione di aggregati di cellule o di cellule isolate. La concentrazione è inferiore, ma il sistema è ancora una sospensione.

In tutti gli esempi precedenti si va dal macroscopico al microscopico. Viceversa, per tutte le salse come la crema inglese, la salsa bernese, la salsa olandese e tutte le salse che contengono uova o sangue, si segue il percorso che va dal molecolare al microscopico. Riscaldando una soluzione proteica, l'agitazione termica porta alla formazione di piccoli coaguli solidi dispersi nella fase acquosa. La salsa "impazzisce" (si dice proprio così) quando gli aggregati hanno una taglia macroscopica, visibile a occhio nudo e soprattutto percepibile in bocca come dei grumi. In ogni caso, impazzite o no, l'ispessimento delle salse deriva dal formarsi di una sospensione.

Finora, però, abbiamo visto esempi classici, non "nota a nota". Per il nostro concorso non bisogna utilizzare frutta, verdura o pesce, ma composti chimici puri, fermo restando che si può scegliere di partire da un sistema macroscopico (costituendo un solido nota a nota per poi suddividerlo) o da uno molecolare (di-



sperdendo le molecole in un liquido e provocandone l'aggregazione).

Oltre a questo doppio movimento, però, c'è dell'altro. Pensate alla fonduta, che tradizionalmente si prepara scaldando del formaggio (un gel a base di latte) nel vino: il gel si disgrega, liberando nel liquido goccioline di materia grassa e, senza dubbio, anche micelle di caseina. Stavolta la dissociazione del solido di partenza libera direttamente le strutture della dimensione desiderata: siamo ancora nel movimento discendente, dal macroscopico al microscopico, ma abbiamo sostituito l'agitazione termica con la dissociazione. Un esempio? Prendiamo dei grani di amido (della fecola) e disperdiamoli in un gel di gelatina (un aspic) o di pectina (una confettura). Immerso in un liquido caldo il gel fonderà, liberando le particelle solide racchiuse al suo interno. Non vi resta che dargli del gusto!

Hervé è un chimico-fisico francese, direttore dell'International Centre for Molecular Gastronomy AgroParisTech-INRA e padre della gastronomia molecolare. Per Dedalo ha pubblicato: *La scienza in cucina* (2010) e *La cucina nota a nota* (2017).

L'ISTINTO MUSICALE

Richiamo nomade

Philip Ball



Poche fusioni musicali potrebbero apparire più improbabili e al tempo stesso più naturali di quella praticata da The Hu, una band mongola che unisce il canto armonico di gola tradizionale con l'estetica tutta pelle e catene dell'heavy metal. La straordinaria qualità gutturale della tecnica vocale rispecchia quella che si può trovare all'estremo limite del black metal scandinavo, mentre l'immaginario motociclistico riflette il modo in

cui questo veicolo ha potenziato il ruolo del cavallo nella moderna cultura nomadica della Mongolia.

È un mondo decisamente tutto maschile, fino a poco fa infatti i sostenitori di questo stile consideravano il canto armonico gutturale un tabù per le donne, in quanto si riteneva che le rendesse sterili.

C'è una sensazione elementare, primordiale in questo metodo vocale che, riecheggiando la ricchezza armonica di suoni naturali come quelli delle cascate e del vento, è legato alla credenza animistica negli spiriti che dimorano nella natura. Praticato principalmente dai pastori della repubblica russa di Tuva, al confine con la Mongolia, il canto armonico (chiamato Khoomei a Tuva)

è un'abilità che si acquisisce senza una formazione accademica. Si ottiene modificando la gola e la bocca in modo da accentuare degli armonici specifici che risuonano sopra una nota fondamentale profonda nel suono prodotto dalle corde vocali appena al di sotto della laringe. In tal modo vengono emesse due note al tempo stesso: un rombo basso e un acuto ronzio.

In ogni lingua il linguaggio parlato o il canto comportano l'uso delle labbra, della lingua e della gola per selezionare i componenti della frequenza prodotti dalla risonanza dell'aria sulle corde vocali. Queste cosiddette formanti - picchi nello spettro degli armonici - creano suoni vocalici distinti e vengono alterate per dare al linguaggio la sua prosodia, ossia l'elevarsi e abbassarsi di tono che rivela il significato e l'intenzione. Quindi, le corde vocali sono la fonte del suono e il tratto vocale funge da filtro.

Chi pratica il canto armonico usa questo filtro con particolare abilità, in genere usando la base o parte posteriore della lingua per concentrare l'energia delle for-

> manti in unico armonico, percepito come un suono simile a un fischio al di sopra del brontolio di fondo. La nota più alta può essere intonata a piacere, di modo che è possibile cantare un'intera melodia sullo stesso cupo suono di fondo.

Gli aspetti biomeccanici e acu-

stici di questo fenomeno non sono ancora del tutto chiari. Un'équipe di Toronto ha svolto di recente delle ricerche usando la risonanza magnetica per scoprire come cambia la conformazione del

tratto vocale quando i cantanti eseguono il Khoomei, mostrando così come i restringimenti operati nel cavo orale e nella faringe portino le formanti a fondersi nell'armonico desiderato. © Stefan Brending - Wikimedia In questa tecnica vi è tuttavia anche un elemento percettivo. Tutti i suoni normali, nella musica o in natura, contengono una mescolanza di armonici, ma il sistema uditivo tende a fonderli in un unico

> suono percepito come una sola nota al pianoforte. Ciò che differenzia il canto armonico è che gli armonici vengono canalizzati in un'unica nota, un suono talmente inusuale da sventare la fusione mentale, cosicché udiamo il suono come se provenisse da due fonti diverse.



INFO

Philip, chimico e fisico inglese, è un divulgatore scientifico freelance. Per Dedalo ha pubblicato L'istinto musicale (2011).

NUMERI IN GIOCO

Memoria e perspicacia

Ennio Peres



Il nostro cervello è composto da circa cento miliardi di neuroni, ciascuno dei quali è in grado di attivare migliaia di possibili contatti con altri neuroni. Una tale complicatissima rete di connessioni viene rimodellata in maniera irripetibile, ogni volta che una determinata situazione imprime nella nostra mente un ricordo. La scienza non è ancora riuscita a interpretare completamente il funzionamento dei meccanismi neurologici che consentono la registrazione delle informazioni nella nostra mente e il loro recupero in tempi più o meno rapidi. Sembra ormai accertato, però, che si possano distinguere tre diversi tipi di memoria:

- La memoria sensoriale conserva per pochi attimi tutte le informazioni percepite, in continuazione, attraverso i nostri organi di senso.
- La memoria a breve termine è in grado di assimilare per alcuni minuti una parte minima delle informazioni, opportunamente codificate, recepite mediante la memoria sensoriale.
- La memoria a lungo termine, per effetto di una netta marcatura (conscia o inconscia) nei circuiti cerebrali, è in grado di conservare per alcuni giorni, o per tutta la vita, una parte delle informazioni filtrate dalla memoria a breve termine.

Esistono diversi sistemi collaudati per riuscire a memorizzare ogni sorta di dati: numeri di telefono, password, liste di nomi, brani di poesie e così via. In generale, però, la capacità di ricordare può essere rafforzata dal possesso di un buono spirito di osservazione (e, viceversa, uno scarso spirito di osservazione può essere surrogato da una buona padronanza della memoria).

Infatti, se si è in grado di cogliere alcune particolari regolarità in un determinato insieme di dati, è più facile riuscire a tenere a mente i suoi elementi. Ad esempio, provate a cogliere delle particolari regolarità nelle seguenti sequenze di cifre numeriche, in modo da poterle memorizzare con uno sforzo minore:

- a) 149162536
- **b)** 23571113
- c) 36122448
- d) 527246060
- **e)** 14921012
- **f)** 84756333

If nome di ciascuna citra della sequenza (tranne l'ultima) è composto da una quantità di lettere uguale al valore della cifra successiva: otto \rightarrow 4; quattro \rightarrow 7; sette \rightarrow 5; cinque \rightarrow 6; sei \rightarrow 3, tre \rightarrow 3, tre \rightarrow 3, tre \rightarrow 3.

settimana; 24 sono le ore di un giorno;

– 60 sono i minuti di un'ora; 60 sono i secondi di un minuto.

e) La sequenza rappresenta la data della scoperta dell'America, scritta nella notazione anglosassone: 1492-10-12.

 52 sono le settimane di un anno; 7 sono i giorni di una esttimane.

d) Scorrendo le cifre della sequenza, da sinistra verso destra, si

c) La seconda citra della sequenza (6) è uguale al doppio di quella precedente (3); la terza e la quarta formano un numero (12) uguale al doppio della citra precedente (6); la doppio di quello formato dalle due citre precedenti (12); la settima e l'ottava citra formano un numero (48) uguale al doppio di quello formato dalle due citre precedenti (24).

numeri primi (2, 3, 5, 7, 11, 13).

quadrati perfetti (1, 4, 9, 16, 25, 36).

b) La sequenza è formata dalla concatenazione dei primi sei

Soluzione a) La sequenza è formata dalla concatenazione dei primi sei

Laureato in Matematica, Ennio dalla fine degli anni '70 svolge la professione di "giocologo", con l'intento di diffondere, tramite ogni possibile mezzo, il piacere creativo di giocare con la mente.

edizioni Dedalo



Federico Benuzzi

Lo spettacolo della fisica

Capire la scienza con l'arte della giocoleria

Bernard I. Cohen

Il potere dei numeri

Come la matematica ha rivoluzionato la vita moderna





María Novo

Vivere slow

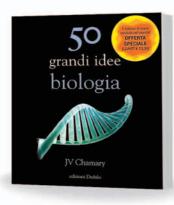
Apologia della lentezza

Paolo Gallina

Un robot per vincere le tentazioni

Come le macchine antiedonistiche boicottano i nostri istinti





JV Chamary

50 grandi idee biologia







L'enigma del neurone giovane

di Luca Bonfanti

edizioni Dedalo, 2021 pp. 96, € 11,50

Nella sua ultima fatica letteraria, L'enigma del neurone giovane, Luca Bonfanti riesce nella non facile impresa di sciorinare con elegante e apparente semplicità uno dei concetti fondamentali e più complessi delle neuroscienze, vale a dire la plasticità cerebrale. Con una premessa, che Bonfanti tiene a sottolineare sin dalle prime pagine del libro: la divulgazione scientifica non è per tutti. Un'affermazione che appare elitaria e un po' altezzosa, ma che nasconde una profonda verità che lo stesso Bonfanti si assume la responsabilità di evidenziare: la semplificazione eccessiva dei risultati scientifici, al fine di raggiungere una platea più estesa possibile, molte volte produce una mistificazione e un profondo

inaridimento della novità e dell'importanza contenuta nella scoperta stessa.

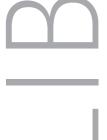
Bonfanti elenca tre diversi tipi di plasticità che operano nel cervello dei mammiferi: la plasticità sinaptica, vale a dire la capacità dei neuroni di aumentare, rafforzare e rimodellare le proprie sinapsi; la plasticità rigenerativa, quel processo che prevede la produzione di nuovi neuroni in determinate regioni del cervello; e, dulcis in fundo, la plasticità dei neuroni immaturi, una popolazione neuronale che si origina nel corso della vita embrionale e che rimane "congelata" a uno stato differenziato intermedio, pronta a maturare e integrarsi nei circuiti cerebrali pre-esistenti allo scopo di modulare il corretto funzionamento di una determinata regione cerebrale.

Ed è proprio sui neuroni immaturi che Bonfanti incentra gran parte del suo libro. Lo fa raccontando, con colte e spassose intromissioni nel mondo dei libri gialli, l'eterna sfida fra la neurogenesi adulta e i neuroni immaturi. Anche perché l'autore è stato fra i primi a scoprire l'esistenza dei neuroni immaturi e da molti anni è impegnato a svelarne le principali caratteristiche funzionali.

L'agone scientifico è una riproposizione del Davide contro Golia in chiave neurobiologica: da una parte, la potentissima e ricchissima armata formata principalmente da scienziati americani e tedeschi, che produce meravigliosi dati sulla neurogenesi e sulle cellule staminali neurali dei topi adulti. Dall'altra, uno sparuto gruppo di scienziati-Davide, di cui Bonfanti è uno dei principali esponenti, che si sono posti due principali obiettivi: dimostrare l'assenza, o al massimo la marginalità funzionale, della neurogenesi adulta nell'uomo e proporre i neuroni immaturi come un processo di plasticità essenziale nel cervello umano.

Nel libro sono raccontate in modo magistrale tutte le varie tappe di questa sfida e come gli scienziati-Davide siano riusciti faticosamente, a suon di pubblicazioni scientifiche, a farsi strada all'ombra del gigante Golia che in un primo momento ha ignorato, poi tentato di screditare e alla fine è sceso a compromessi con i fautori dei neuroni immaturi, lasciando aperta la possibilità di una coesistenza delle due forme di plasticità nel cervello umano.

Stefano Farioli Vecchioli



La matematica è politica

di Chiara Valerio

Einaudi, 2020 pp. 112, € 12,00

"È". Mi sono fidata subito di questo presente indicativo perché, vale per me e le persone che a volte mi capita di consolare, nella vita ambiamo tutti a che le risposte alle nostre domande siano consegnate al modo e tempo verbale del presente indicativo.

Avere tra le mani un titolo come *La matematica* è *politica*, *vale per me*, è come alzare le braccia e permettere allo steward di controllare che la cintura di sicurezza sia ben allacciata prima del decollo.

Fra poco si vola, mi attrezzo per l'evento secondo le dovute misure di sicurezza.

Ma qui si è trattato, vale per me, di un viaggio turbolento: il procurato timore di occupare un posto non assegnatomi su un aereo diretto altrove ha reso il tragitto più lungo delle previsioni, snervante, alla continua ricerca di riferimenti familiari, di rassicurazioni, del codice di condotta d'emergenza in caso di imminenti catastrofi.

Mi sono sentita una passeggera sbagliata a bordo di questo libro in diversi punti del testo. Come ad esempio qui: «Se i nostri politici avessero studiato matematica e, se studiandola l'avessero capita, si comporterebbero diversamente rispetto alle

cariche dello Stato che ricoprono perché non agirebbero come singoli ma come funzioni di sistemi più ampi del loro ego e soprattutto non si preoccuperebbero delle cose ma delle relazioni tra le cose». Ho dalla mia i diversi viaggi nelle esperienze di vita altrui per commentare fino alla noia questa ipotetica dell'irrealtà. La trovo una manovra pericolosa. Nel radioso orizzonte che il

pilota intende mostrare ai passeggeri scorgo dal finestrino un banco di nebbia che sono le numerose vite votate alla *res publica* il cui percorso non si incastona perfettamente nella protasi e apodosi qui selezionate. I luoghi della mia conoscenza, frazionaria e parziale (ma diversa da zero), mi occorrono qui da giubbotto di salvataggio.

Il mio *bias* mi ha portato a soffrire altre volte le memorie personali e l'esercizio divulgativo della preparata e acuta autrice Chiara Valerio. «Studiare non serve, studiare comanda» e ancora «Penso che studiare matematica educhi alla democrazia più di qualsiasi altra disciplina sia scientifica che umana» spaventano l'individuo che fonda sul dubbio lo stimolo alla ricerca continua di una verità abbordabile, auspicabile. Studiare, *vale per me*,

mi porta più spesso a rivedere e a riformulare che non a comandare o a disciplinare. Studiare è servile quando il sapere si mette al servizio di tutti.

Per chi, e ancora una volta vale per me, non ha frequentato la matematica in una relazione duratura e consolidata e ha praticato poco la politica attiva, accettare di seguire la direzione dell'itinerario proposto è sentirsi obbligati al ricorso al personale altrui per affrontare l'universale. Ma allora avrei preferito che da qualche parte, non troppo lontano da quel presente indicativo, anche la ricercatrice scrittrice potesse aggiungere – un po' come ho provato a fare io che la matematica è politica, vale per me.

Invito tanti a questa lettura e desidero al terminal di arrivo di essere avvicinata, smentita, corretta, confortata, compatita se è il caso: del resto, lo dice bene l'autrice stessa «non è la matematica a scoraggiare, ma il modo in cui essa è scritta o presentata». Ed ecco che certamente il messaggio di Chiara Valerio *vale per me*.

Rosy Matrangolo

Chiara Valerio

La matematica è politica



La matematica è stata il mio apprendistato alla rivoluzione, perché mi ha insegnato a diffidare di verità assolute e autorità indiscutibili. Democrazia e matematica, da un punto di vista politico, si somigliano: come tutti i processi creativi non sopportano di non cambiare mai.



La scatoletta

di Gianfranco D'Anna

«Prova ad aprirla».

«Cosa? La scatoletta che mi hai dato stamattina?».

«L'ho già aperta stamattina... è vuota».

«Non è più vuota».

«In che senso?».

«Aprila, vedrai».

«Fai i giochi di prestigio, adesso?».

«No, no, è scienza, anzi fantascienza diventata realtà».

«Mi incuriosisci... non sarà uno scherzo, uno di quei serpenti che schizzano fuori?».

«Giuro, no. Apri!».

Claudia lo osserva ancora un attimo, dubitosa. Poi si decide e solleva lentamente il coperchio della scatoletta.

«Ma guarda un po', non è più vuota», dice esagerando il tono della sorpresa. «Sembra contenere una caramella, ma senza carta», aggiunge.

«Mangiala, dai, provala», insiste Gianfranco.

Claudia diffida dell'amico e lo scruta per capire cosa significhi quel giochino. Quel mattino Gianfranco era apparso sulla porta dell'ufficio, era entrato di fretta e aveva appoggiato la scatoletta sulla scrivania. "Un regalo" era stato l'unico commento. Claudia aveva ispezionato la scatoletta, sembrava fatta da un materiale composito leggero, nessuna scritta, vuota.

«Dai, mangiala», ripete lui.

Lei si decide, prende la caramella e la posa sulla lingua.

«È buonissima...» dice mentre la fa girare in bocca. «Anzi, favolosa, ma di cosa è fatta? Sembra cioccolato... no, miele, è dolce e non è dolce, ma sai che sono confusa?». Claudia arrossisce, le sembra ci siano sapori di ricordi antichi, segreti.

Gianfranco la osserva con un sorriso di soddisfazione. Da parecchio tempo sta lavorando su un'idea maturata già durante il dottorato.

Claudia intanto non sa più cosa pensare, la caramella la inonda di sapori e profumi tanto piace-

voli quanto sorprendenti e mutevoli. A momenti, come poco prima, emergono memorie di attimi remoti, e capisce che sono reminiscenze evocate da odori – i biscotti nella scatola della mamma, il giardino, il primo bacio. «Gianfranco, dimmi cosa è!», sbotta infine.

Gianfranco si siede sulla poltroncina a rotelle, indica la scatoletta, senza toccarla: «Detto in parole povere, la scatoletta identifica i tuoi gusti dal momento che la tocchi e fabbrica la tua caramella preferita». Avvicina la poltroncina mentre continua la spiegazione: «Il materiale è un aggregato di unità morfologiche e fisiologiche identiche, cioè cellule modificate geneticamente e interconnesse tramite una rete neuronale, il tutto intimamente integrato in una matrice rigida e inerte dalla struttura geometrica amorfa. La scatoletta è una sorta di intelligenza artificiale biologica: quando la tocchi i tuoi ormoni, il tuo sangue, il tuo DNA, i tuoi parassiti, i tuoi anticorpi, i tuoi mitocondri, il livello di glucosio, il colesterolo, tutto viene assorbito attraverso la superficie della matrice e analizzato, trattato, relazionato dalla parte "cellulare" del dispositivo... perché alla fine dei conti si tratta di un dispositivo».

Claudia ascolta con la bocca aperta.

«In realtà basta che ti avvicini e il dispositivo percepisce la tua presenza, è meglio del naso di un cane, sente tutti i tuoi odori... per il dispositivo sei circondata da un'arborescenza di informazioni biologiche e fisiche». Ora Gianfranco la guarda socchiudendo gli occhi: «La scatoletta conosce i tuoi gusti, i tuoi segreti meglio di te stessa; ed è in grado di condensarli in una caramella, la TUA caramella». Si lascia andare all'indietro riunendo le mani dietro la nuca: «Il dispositivo può produrre una "caramella" ogni venti ore circa, è un modello piccolo».

«Ma come fa a fabbricare una caramella?» chiede Claudia.

Lui sorride soddisfatto: «Sai, il dispositivo attiva tutto un processo di crescita, è simile al



formarsi di un embrione, la rete neuro-biologica condensa i tuoi gusti in una sequenza simile al nostro DNA, ma molto più corto, e in genere senza introni, di modo che l'RNA polimerasi effettua le copie senza l'intervento dello spliceosoma...». Claudia perde un po' il filo e lui se ne accorge. «Saltando i dettagli, degli enzimi sintetizzano le proteine che formano la tua caramella... certo, come per la formazione di un embrione, le cose sono molto complicate a livello molecolare».

«È incredibile!». Claudia non sa se applaudire o rabbrividire. Sa bene, invece, che Gianfranco è uno scienziato di grande valore, ma come parecchi suoi pari fatica ad anteporre una certa prudenza etica al progresso scientifico. «Ma a cosa serve?».

«Non lo so ancora... tu sei la mia prima cavia», e ride di gusto. «Ogni giorno tu toccherai la scatoletta e dopo venti ore circa lei ti proporrà la TUA caramella. Tu aspetterai quel momento con crescente eccitazione, imparerai a immaginarti che gusto avrà, forse all'inizio sarai logorata dall'attesa, ma la scatola saprà darti la caramella giusta perché il tutto diventi un continuo piacere».

"O forse sarà il processo opposto, sempre più stress, chissà" si chiede mentalmente Gianfranco.

«lo mi rifiuto di partecipare a questo esperimento!», esclama Claudia ormai spaventata.

«lo credo che sia troppo tardi», risponde lui mentre dalla tasca estrae una caramella e lentamente la scarta e la pone sulla lingua. «Questa è una caramella normale», sottolinea notando la confusione negli occhi di Claudia. «Sai, resistere alla TUA caramella richiede un controllo di sé estremo... certo, non ne ho ancora le prove, è solo un'ipotesi. Aspettiamo e vedremo cosa succede».

«lo non ti credo, sei venuto mentre non c'ero e hai messo una caramella...», ribatte Claudia senza però poter finire la frase, mentre un sentimento di incredibile soddisfazione la invade, un insieme di reminiscenze

odorifere e gustative le ricorda... no, non è un ricordo, è di più, è un'esperienza intensa, è trasportata indietro nel tempo, tutti i sensi sono toccati. Il tutto dura pochi secondi, si riprende, non sa cosa dire

«Me ne vado, Claudia. Poi domani mi dirai come è andata». Gianfranco si alza mentre lei sputa quel che resta della caramella nel cestino della carta e si allontana dalla scatoletta.

Dalla soglia lui getta ancora uno sguardo nell'ufficio, la vede lì, in piedi, allibita. La scatoletta è sulla scrivania. Gianfranco pensa di aspettare per vedere quanto tempo ci vorrà finché Claudia la toccherà ancora. Ma poi si volta e s'incammina lungo il corridoio, sorridendo fra sé.

Infatti, dopo pochi minuti Claudia si siede e prende la scatoletta; domani ci sarà una nuova caramella.

I cerchi delle fate

Monica Marelli



C'è un mistero lungo 2000 chilometri. Si presenta in un territorio arido, che corre lungo il confine orientale del deserto della Namibia meridionale, dall'Angola fino alla zona nord-occidentale del Sudafrica. Si tratta dei *cerchi delle fate*, zone quasi perfettamente circolari, senza vegetazione, ma circondate da un anello di "ciuffi" di erba del genere *Stipagrostis*.

I cerchi appaiono sparpagliati senza uno schema preciso, e le distanze fra un cerchio e l'altro sono estremamente regolari. I cerchi rimangono visibili per circa 24 anni ma i più grandi rimangono immutati fino a 75 anni. Mostrano un diametro che varia da 2 a 12 metri e la Namibia non è l'unico luogo misterioso che ospita il fenomeno: è stato documentato anche in Sudan, Kenya e in Australia orientale.

Sono più di quarant'anni che gli esperti azzardano ipotesi sulla loro origine, ma solo nel 2018 gli scienziati sono giunti a due ipotesi. La matematica Corina Tarnita ha studiato a lungo i cerchi delle fate, analizzando il fenomeno a partire dall'aridità della regione. Dato che l'acqua è un bene limitato, le piante sono in competizione per la sopravvivenza. Quindi all'espandersi della vegetazione, solo le piante più grosse sopravvivono e quelle più sottili muoiono. Così, in media, ciò che appare sono macchie di sabbia regolarmente distanziate.

Ma c'è un elemento in più: sotto ognuno dei cerchi, c'è una colonia di termiti. In particolare il biologo Norbert Jürgens, dell'Università di Amburgo, ha analizzato ogni vita animale presente dentro e fuori dai cerchi e scavato buche al centro in modo da poter scovare eventuali organismi sotterranei. Ebbene, ha concluso che le termiti della specie Psammotermes allocerus sono le uniche forme di vita presenti nel suolo quando i cerchi iniziano a formarsi. Questi animali creano infiniti tunnel sotterranei e mangiano le radici delle piante che in seguito muoiono. Allo stesso tempo, una parte di acqua piovana rimane intrappolata nel sottosuolo (non ci sono più radici che la risucchiano!) e quindi rimane a disposizione delle termiti e, a sua volta, anche delle piante più grandi e forti che costellano il cerchio.



E non è finita qui. Quando una colonia di termiti incontra una sua simile, scatta la lotta per la sopravvivenza all'ultimo sangue. Il risultato è che sopravvive una sola colonia, sempre più o meno della stessa dimensione, e fra un luogo abitato e l'altro non vi sono termiti (dunque in superficie rimane l'erba). Quando la Tarnita ha creato una simulazione al computer dei due modelli (sopravvivenza delle piante più forti e azione delle termiti), ha scoperto che in realtà sia le piante che le termiti possono tranquillamente agire in modo indipendente una dall'altra nella creazione dei cerchi. E solo quando i due fenomeni interagiscono, creano quel vastissimo paesaggio "a pois" che si può ben osservare dall'alto.

Comunque la scienziata non è ancora del tutto convinta. Gli ecosistemi sono strutture complesse ed è necessario considerare altri fattori in gioco. Per esempio, qual è il ruolo dei microrganismi che abitano il suolo? E quello della frequenza della pioggia? Aggiungendo questi elementi al puzzle, nel modello virtuale è possibile valutare le condizioni generali e perfino fare previsioni sulla sua evoluzione. La Tarnita afferma che questi affascinanti schemi regolari sono anche un messaggio su

come funziona l'intero ecosistema e le sue condizioni di salute. E una domanda rimane ancora senza risposta: perché proprio quelle forme circolari?



Come sopravvivere su un'isola deserta

Marco Signore

Un tema letterario e cinematografico molto diffuso è quello dei naufraghi su un'isola deserta. Ma nella realtà riuscireste a sopravvivere su un'isola lontana da ogni rotta?

Ignacy Trzewiczek, noto e talentuoso game designer, se lo è chiesto nel 2012, sfornando uno dei giochi cooperativi più realistici, difficili e frustranti prodotti in Europa: Robinson Crusoe. Avventure sull'Isola Maledetta. Questo titolo ha avuto imme-

diatamente un notevole successo, è stato tradotto anche in italiano, grazie anche alla sfida proposta dalle meccaniche di gioco, che permettono ai fan di creare scenari di ogni tipo usando le regole base, partendo dalla "semplice" sopravvivenza per arrivare a isole abitate da cannibali, mostri giganti, e persino zombi (ormai pressoché onnipresenti).

Una delle espansioni ufficia-

li del gioco è interamente dedicata al viaggio di Darwin sull'imbarcazione Beagle. Il gioco funziona talmente bene che qualche anno fa ne è stata commercializzata una versione dedicata ai primi uomini su Marte, di cui spero di parlarvi presto. L'aspetto più interessante di Robinson Crusoe è il realismo: sin dal primo scenario, in cui bisogna costruire un segnale sulla spiaggia per cercare di attirare i soccorsi, ci si rende conto che il gioco non perdona, esattamente come un qualsiasi ambiente ostile nei confronti di naufraghi impreparati. Trovare cibo e acqua è una priorità, ma senza un riparo e un modo per proteggersi dal clima tutti i nostri sforzi saranno vani. E dove andranno conservati cibo e acqua? Come costruire un riparo? Occorrono attrezzi, che vanno progettati e assemblati. E bisogna esplorare l'isola, anche solo per cercare i resti del naufragio tra i quali potremmo trovare oggetti utili.

Ma la natura non sta a guardare, e noi abbiamo perso da tempo la capacità di muoverci a nostro agio in terreni selvaggi. Così, l'incidente è sempre



dietro l'angolo: distorsioni, cadute, fratture, ferimenti, piante velenose, animali selvatici pericolosi... insomma, *Robinson Crusoe* non è un gioco sulla storia letteraria del famoso naufrago, ma un simulatore di sopravvivenza ambientato nel XIX secolo.

E, come se la nostra inadeguatezza non bastasse, il gioco tiene conto di un elemento che spesso ignoriamo nella vita quotidiana: il morale. La prima regola della sopravvivenza è proprio mantenere il morale

il più alto possibile, ma le meccaniche di *Robinson Crusoe* simulano benissimo l'oscillazione del morale dei naufraghi e l'effetto sulle loro azioni: vedere uno dei compagni giacere su un pagliericcio in preda alla febbre alta mentre la tempesta ha appena distrutto il nostro tetto non è il massimo dell'incoraggiamento e le nostre azioni ne risentiranno.

D'altronde avere successo in compiti fondamentali o trovare scorte inattese aumenta il morale e ci permette di lavorare meglio.

Nonostante il gioco abbia ormai 10 anni, si è conclusa da poco una campagna di *crowdfunding* per una nuova edizione che include tantissimi nuovi scenari, migliorie e – come ormai sembra d'obbligo – una serie di miniature non solo dei naufraghi, ma anche dei compagni di sventura (incluso il mitico Venerdì) e del campo, che ora può essere visualizzato man mano che lo rendiamo più grande e funzionale. Insomma, dopo 10 anni la simulazione delle difficoltà più incredibili continua a tenere banco tra gli appassionati di *boardgame*, come testimonianza non solo della bontà del *game design* – nonostante le regole non siano affatto semplici da imparare – ma anche della nostra passione per l'ignoto. Anche quando l'ignoto potrebbe, di fatto, ucciderci.

Marco, laureato in Scienze Naturali, ha un PhD all'Università di Bristol in paleobiologia e lavora presso la Stazione Zoologica di Napoli "Anton Dohrn".

CRISPR EDITING GENOMICO

EMMANUELLE CHARPENTIER JENNIFER DOUDNA

NEL 2011 INIZIA UNA FRUTTUOSA COLLABORAZIONE...

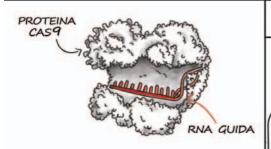
> EMMANUELLE E IO VOLEVAMO CAPIRE COME I BATTERI COMBATTONO LE INFEZIONI VIRALI.

> > ... COSTITUITO DALLA

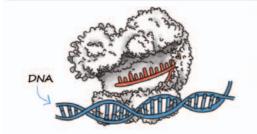
PROTEINA CASA, CHE

CERCA, TAGLIA E DEGRADA IL DNA VIRALE.

IL BATTERIO "STREPTOCOCCUS PYOGENES" USA IL SISTEMA immunitario crispr



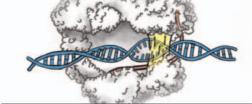
L'RNA GUIDA TROVA IL DNA COMPLEMENTARE E VI PORTA CAS 9 ...



... CAS9 + RNA SCANSIONANO IL DNA ...



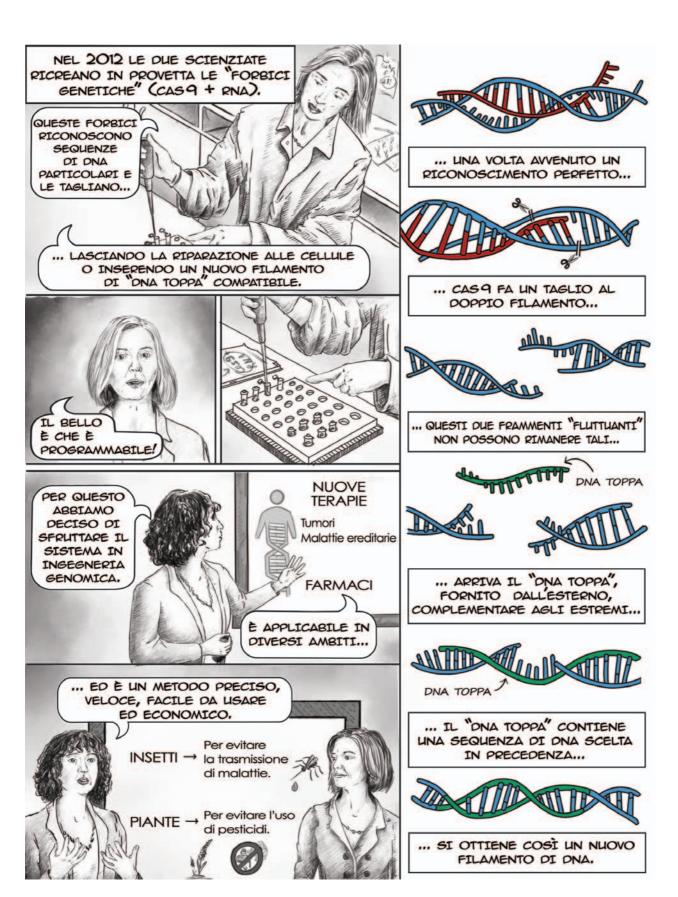
... QUANDO TROVANO IL PUNTO ESATTO ...



... CAS 9 SPOTOLA E TAGLIA LA DOPPIA ELICA DEL DNA ...

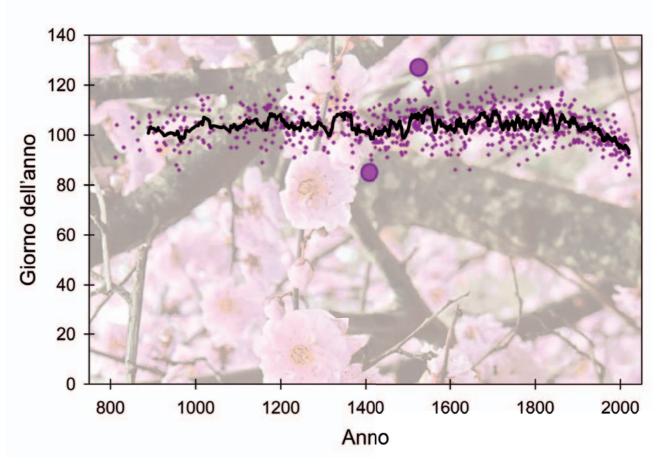






A A D

Guarire i ciliegi



«Da bambino volevo guarire i ciliegi» cantava De André. Alle orecchie del popolo giapponese simili parole suonerebbero strane dato che la fioritura dei ciliegi è un evento di grande importanza e di grande bellezza, rinomato in tutto il mondo e quasi di culto. Al punto che con pazienza e minuzia si registra sin dall'Ottocento il giorno dell'anno in cui appare il primo fiore di ciliegio nella città di Kyoto. Nei circa 13 secoli di cui conosciamo precisamente la data, notiamo che la fioritura avviene in media nei giorni 12 o 13

aprile. La fioritura più tardiva è avvenuta l'8 maggio 1526, mentre la più precoce è il 27 marzo 1409, superata di un giorno solo nel 2021.

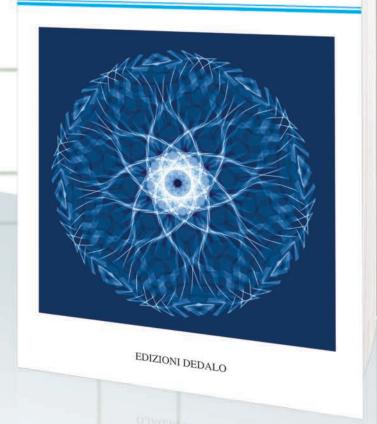
Guardando la media mobile su 10 anni (un tipo di media molto usato per l'analisi di serie storiche di dati) si nota anche un costante anticipo della fioritura nell'ultimo secolo. Una prova del cambiamento climatico cittadino?



LUIGI BORZACCHINI

IL SENSO Dell'Algebra

L'ORIGINE DEL LINGUAGGIO SCIENTIFICO UNIVERSALE postfazione di Gabriele Lolli



Borzacchini mostra che l'algebra non è solo una serie di simboli astratti e incomprensibili, ma il linguaggio del mondo: per questo, ci aiuta a decifrarlo e a scoprirne il fascino.

TRA CIELO E TERRA

In viaggio con Dante Alighieri e Marco Polo

Cosa unisce Dante e Marco Polo? Tra aneddoti storici e curiosità scientifiche, tutti i legami tra questi due grandi esploratori della vita, capaci di cambiare per sempre il nostro modo di guardare il mondo.

f



H edizioni Dedalo