

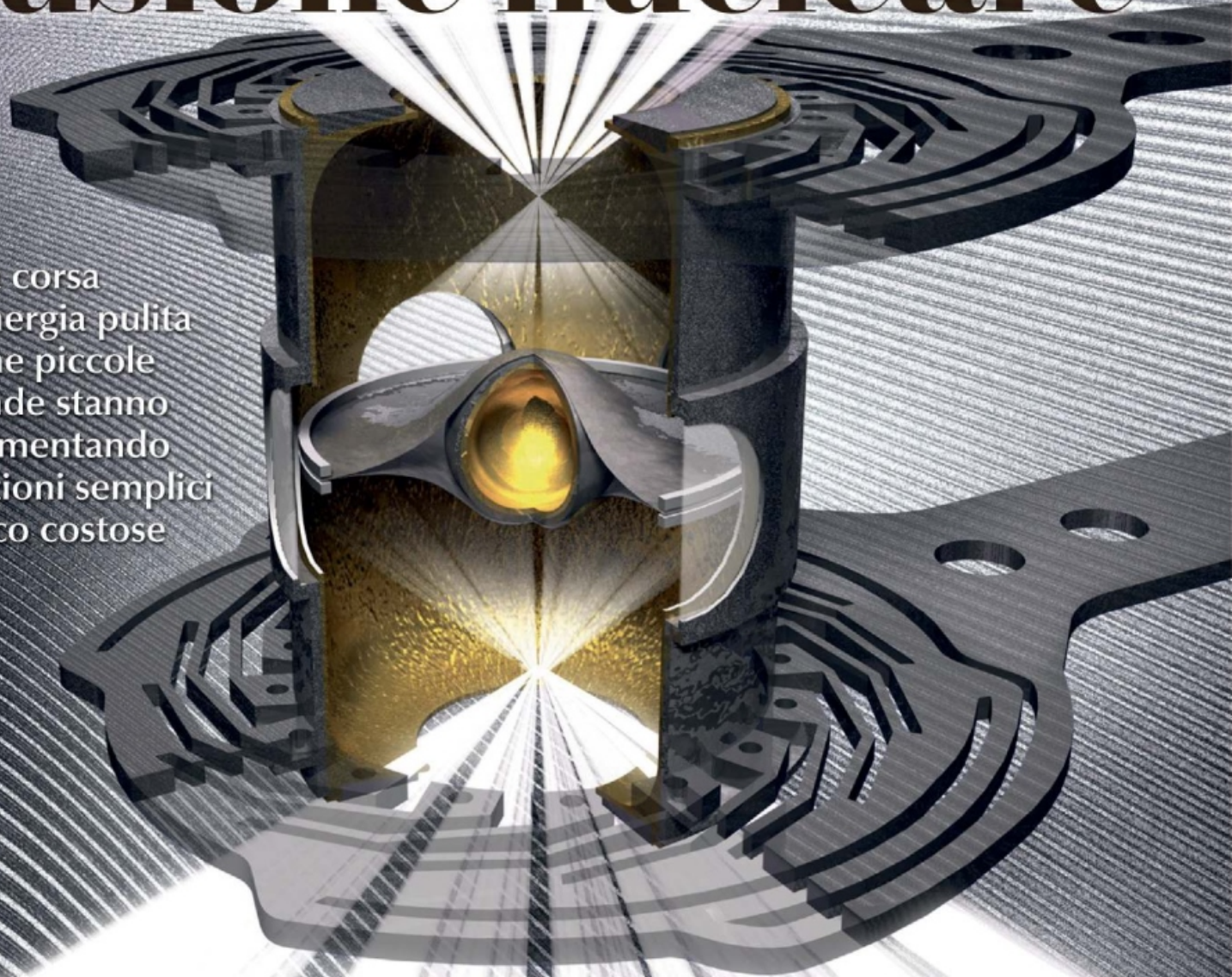
Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

La via privata alla fusione nucleare

Nella corsa all'energia pulita alcune piccole aziende stanno sperimentando soluzioni semplici e poco costose



Innovazione

Dieci idee rivoluzionarie per cambiare il mondo

Medicina

Organi umani da corpi animali per risolvere la crisi dei trapianti

Al Servizio
Sanitario
Nazionale

AGGIUNGIAMO

il Tuo Servizio
Sanitario
Personale.



Gli Italiani ogni anno pagano **570 euro** a testa per le cure private. **#laSoluzione?** **Assicurazione Sociale Sanità Integrativa**: la migliore protezione dalle cure private.



#laSoluzione



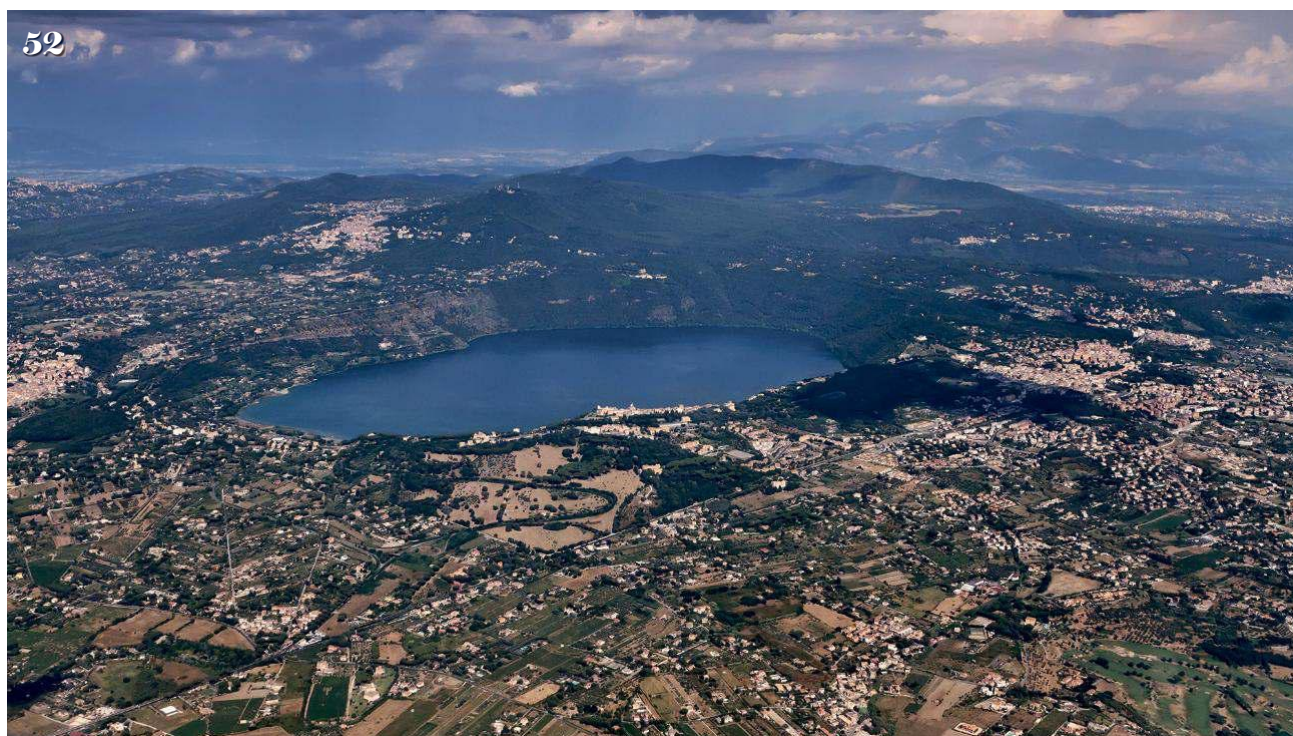
AssicurazioneSalute

www.rbmsalute.it



La fusione nucleare sarebbe una fonte di energia pulita senza controindicazioni. Ma nonostante decenni di ricerca di istituzioni pubbliche, l'obiettivo è ancora lontano. Ora entrano in campo i privati. (Immagine: Stefan Schiessl/SPL/Contrasto)

gennaio 2017 numero 581



ENERGIA

28 Le nuove frontiere della fusione*di W. Wayt Gibbs*

Alcuni fisici coraggiosi, in qualche caso finanziati da miliardari, stanno esplorando strade più rapide ed economiche verso la fonte perfetta di energia pulita

INNOVAZIONE

36 Idee che cambiano il mondo*di Annie Sneed, John Pavlus e Prachi Patel*

Dieci grandi progressi con le potenzialità per risolvere problemi e migliorare la vita di tutti noi

BIOLOGIA

46 Organi umani da corpi animali*di Juan Carlos Izpisua Belmonte*

Gli scienziati stanno muovendo i primi passi verso la crescita di parti di ricambio per esseri umani nel corpo di maiali, mucche e altri animali

SCIENZE DELLA TERRA

52 Il vulcano alle porte di Roma*di Fabrizio Marra*

L'area vulcanica dei Colli Albani è in uno stato di quiete da decine di migliaia di anni, ma non è inattiva. E ora sta dando segni di risveglio. I recenti allarmismi mediatici, però, sono privi di fondamento

LINGUISTICA

60 Un nuovo modo di vedere il linguaggio*di Paul Ibbotson e Michael Tomasello*

Gran parte della rivoluzione in linguistica operata da Noam Chomsky – compresa la spiegazione di come impariamo le lingue – è messa in discussione

EVOLUZIONE

66 Speciazione in corso*di Rüdiger Riesch*

Le orche si stanno separando in specie diverse, forse perché le differenze culturali tra le popolazioni le stanno allontanando

EPIDEMIOLOGIA

74 La prova del rischio*di Giulia Frezza e Mauro Capocci*

Un oncologo italiano e le sue innovazioni nello studio sperimentale dei tumori sono stati cruciali per stabilire il legame tra una specifica molecola e i tanti casi di cancro tra gli operai di Porto Marghera

NEUROSCIENZE

80 Disintossicarsi a ogni costo*di James Nestor*

L'ibogaina, una sostanza contro le dipendenze che alcuni ritengono più efficace del metadone, potrebbe curare più tossicodipendenti di qualsiasi altra terapia. Oppure ucciderli



17



89



90

Rubriche

7 Editoriale

di Marco Cattaneo

8 Anteprima

9 Lavori in corso

10 Intervista

Una tuta per tornare a camminare di Giovanni Spataro

14 Made in Italy

Agricoltura intelligente di Letizia Gabaglio

16 Scienza e filosofia

Cosmologia e filosofia di Elena Castellani

17 Appunti di laboratorio

Un sonno trasversale di Edoardo Boncinelli

18 Il matematico impertinente

La drosophila assiomaticizzata di Piergiorgio Odifreddi

19 La finestra di Keplero

Un pianeta davvero speciale di Amedeo Balbi

20 Homo sapiens

Sulle tracce dell'harem di Lucy di Giorgio Manzi

88 Coordinate

Chi inquina di più negli Stati Uniti di Mark Fischetti

89 Povera scienza

Il motore impossibile targato NASA di Paolo Attivissimo

90 La ceretta di Occam

Per avere occhi da cerbiatta di Beatrice Mautino

91 Pentole & provette

Danni da congelamento di Dario Bressanini

92 Rudi matematici

Le conseguenze della ginnastica
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

94 Libri & tempo libero

SCIENZA NEWS

- 21 Arginare la marea nera
- 22 Un lampo radio per studiare l'universo
- 22 Nuovo record per l'entanglement di fotoni

- 23 Data di nascita e suscettibilità all'influenza
- 23 Sigarette e mutazioni
- 24 Fusioni difficili da fermare

- 24 Emissioni stabili di anidride carbonica
- 25 Il Neanderthal che è in noi
- 25 Ricominciare a camminare con il wireless
- 26 Brevissime

Oggi puoi leggere
Le Scienze e Mente&Cervello
direttamente su PC.



Sfoggia le Scienze online.

I migliori approfondimenti su scienza, tecnologia e innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista comodamente a casa sul tuo PC. Inoltre su App Store è disponibile l'app de Le Scienze per iPad. Scopri le offerte su <http://s.lescienze.it/offerte>

Le Scienze

LEGGERE, APPROFONDIRE, COLLEZIONARE.

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

ABBONATI SUBITO
CON QUESTA PROPOSTA SUPERVANTAGGIOSA.
PIÙ AUMENTA LA DURATA, PIÙ RISPARMI!



DURATA	PREZZO INTERO	PREZZO PER TE
1 ANNO 12 numeri	€54,00	€39,00
2 ANNI 24 numeri	€108,00	€75,00
3 ANNI 36 numeri	€162,00	€99,00

Solo con l'abbonamento puoi consultare su
www.lescienze.it il ricchissimo archivio dal 1968 ad oggi.

APPROFITTA DI QUESTA OFFERTA SPECIALE!

Spedisci la cartolina che trovi nella rivista oppure trasmettila via fax al n. 02.70.64.82.38
Se preferisci collegati al sito www.ilmioabbonamento.it o telefona al numero 199.78.72.78*

*0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,49 cent di euro al minuto + 6,29 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,8 cent di euro al minuto + 15,75 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).



di Marco Cattaneo

Inseguendo le stelle

La fusione nucleare controllata è ancora una chimera

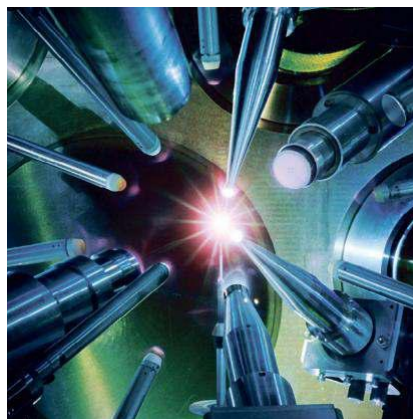
La scoperta della fusione nucleare risale alla fine degli anni venti del Novecento – quasi un decennio prima della scoperta della fissione – quando Robert Atkinson e Fritz Houtermans usarono le misure delle masse degli elementi più leggeri per ipotizzare che la fusione di nuclei leggeri avrebbe liberato enormi quantità di energia. Nel decennio successivo Hans Bethe avrebbe elaborato quantitativamente la teoria della fusione termonucleare, descrivendo i passi del ciclo principale che alimenta le stelle. Gli studi per sfruttarla a scopo militare ebbero inizio già con il Progetto Manhattan, e portarono alla prima bomba H – «la super», come la chiamava Edward Teller che ne fu il più fervente sostenitore – sperimentata dagli Stati Uniti nel novembre 1952. In quegli stessi anni furono avviati anche i primi studi sulla fusione termonucleare controllata, che costituirebbe una fonte di energia pulita e praticamente inesauribile.

Che non fosse un'impresa facile, lo si sapeva dall'inizio. Per sfruttare una fonte di energia così straordinaria occorre infatti generare un plasma e confinarlo a temperature dell'ordine dei 100 milioni di gradi. Almeno. Un reattore, insomma, deve comprimere il plasma surriscaldato in uno spazio relativamente piccolo dentro una camera a vuoto e mantenerci i nuclei finché avvengono le reazioni.

Ma forse non molti pensavano che fosse così difficile. Al punto che a distanza di oltre sessant'anni dai primi studi non è ancora stato realizzato un prototipo di reattore funzionante con continuità, e dunque siamo molto lontani dal sogno di reattori commerciali. Le speranze si erano riaccese nel 2006, con il lancio del progetto internazionale ITER, la cui costruzione è in corso a Cadarache, in Francia. Ma i progressi sono lentissimi, e i costi lievitano. Come racconta W. Wayt Gibbs a pagina 28, la costruzione avrebbe dovuto terminare nel 2016, a un costo di 11 miliardi di

dollari. Che nel frattempo sono diventati 20. Ma, peggio, nella migliore delle ipotesi ITER «non sarà operativo prima del 2035». Difficoltà analoghe le attraversa la National Ignition Facility del Lawrence Livermore National Laboratory, una macchina da 4 miliardi di dollari sviluppata per la ricerca militare. Al momento, l'energia prodotta dalla NIF dovrebbe aumentare di 30.000 volte per compensare i laser usati per il confinamento dei minuscoli contenitori di combustibile.

Anche guardandoli con ingiustificato ottimismo, questi progetti mastodontici non arriveranno a immettere elettricità



in rete almeno fino a metà del secolo. Eppure il sogno della fusione termonucleare controllata è così ambizioso da aver attratto l'interesse di grandi investitori privati, da Amazon a Microsoft fino a Goldman Sachs. E neonate società come General Fusion, Tri Alpha o HyperV Technologies stanno sviluppando progetti meno colossali, meno costosi e più pratici di quelli istituzionali.

Qualcuno nutre ancora molte speranze, qualcuno è scettico. Ma la posta in gioco è così alta che vale ancora la pena di investire nello sviluppo di una tecnologia che, a un secolo dalla scoperta dei principi fisici che governano il fenomeno della fusione, rimane ancora una chimera.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello

presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston

professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham

docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli

docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan

docente di bioetica, Università della Pennsylvania

Vinton Cerf

Chief Internet Evangelist, Google

George M. Church

direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell

docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Richard Dawkins

fondatore e presidente, Richard Dawkins Foundation

Drew Endy

docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten

direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Kaigham J. Gabriel

presidente e CEO, Charles Stark Draper Laboratory

Harold Garner

direttore, divisioni sistemi e informatica medici, docente, Virginia Bioinformatics Institute, Virginia Tech

Michael S. Gazzaniga

direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross

docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Danny Hillis

co-presidente, Applied Minds, LLC

Daniel M. Kammen

direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Vinod Khosla

Partner, Khosla Ventures

Christof Koch

docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss

direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach

direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle

docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer

docente, Massachusetts Institute of Technology

Lawrence Lessig

docente, Harvard Law School

John P. Moore

docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan

docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis

condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak

direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo

docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani

professore ordinario filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco

leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran

direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall

docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi

docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees

docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold

docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs

direttore, The Earth Institute, Columbia University

Eugenie C. Scott

Founding Executive Director, National Center for Science Education

Terry Sejnowski

docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Shermer

editore, rivista «Skeptic»

Michael Snyder

docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara

docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau

docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber

direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg

direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides

docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe

direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger

docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Jonathan Zittrain

docente di legge e computer science, Harvard University

Uno sguardo al nostro passato

A febbraio *Esperimenti naturali di storia*, di Jared Diamond e James A. Robinson

Gli scienziati che volgono lo sguardo al passato nel tentativo di acquisire nuove conoscenze devono fare i conti con un limite: non possono contare sul cosiddetto esperimento di laboratorio controllato, in cui il ricercatore manipola in modo diretto le variabili. Questo tipo di esperimento è considerato un tratto distintivo del metodo scientifico, e di fatto è l'unico usato dalle scienze dure di laboratorio (fisica, chimica e così via) e da alcuni ambiti della scienza della vita, per esempio la biologia molecolare. È evidente però che l'esperimento controllato è di fatto inaccessibile per ambiti come biologia evoluzionistica e paleontologia, e in alcuni casi niente affatto rari di epidemiologia, geologia e astronomia, per esempio. Il motivo è semplice e lapidario: non possiamo manipolare il passato.

C'è tuttavia una soluzione, che va sotto il nome di esperimento naturale o metodo comparativo. In questo metodo, lo scienziato confronta, preferibilmente in modo quantitativo e con l'aiuto della statistica, sistemi che siano simili fra loro sotto molti aspetti ma che differiscano per fattori di cui vuole investigare un eventuale ruolo. È un approccio utile anche per lo studio delle società umane, come mostra *Esperimenti naturali di storia*, libro a cura di Jared Diamond e James A. Robinson, allegato a richiesta con «Le Scienze» di febbraio e in vendita per Codice Edizioni.

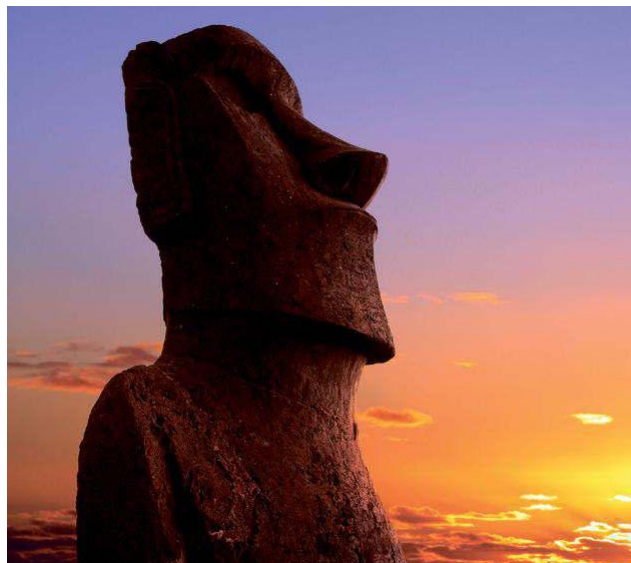
Diamond, docente di geografia all'Università della California a Los Angeles, noto al grande pubblico anche per *best seller* sulla storia della popolazione umana, e Robinson, oggi docente alla Harris School of Public Policy Studies dell'Università di Chicago, illustrano l'applicazione del metodo comparativo allo studio della storia umana recente presentando otto studi in sette capi-

toli, ciascuno dei quali ha autori diversi. Per confrontare il metodo comparativo con lo stile narrativo tradizionale degli storici, i primi capitoli seguono proprio lo stile narrativo, mentre in quelli successivi gli autori passano a studi quantitativi con analisi statistiche. Dunque nel primo capitolo gli autori si domandano per quali motivi la colonizzazione da parte di un unico popolo ancestrale, gli antichi Polinesiani, abbia portato a evoluzioni storiche assai diverse in decine di isole del Pacifico. Oggetto di studio del secondo capitolo sono società di frontiera, con un confronto tra sette di queste società dell'Ottocento: quelle negli Stati Uniti, i

cosiddetti British wests (Canada, Australia, Nuova Zelanda e Sudafrica), Argentina e Siberia. Anche in questo caso lo studio mira a identificare eventuali fattori comuni che abbiano influito sull'evolversi delle rispettive storie.

Il capitolo successivo confronta Stati Uniti, Messico e Brasile, e origini ottocentesche dei rispettivi sistemi bancari. E dimostra che le differenze tra questi sistemi ebbero conseguenze importanti per le storie delle tre nazioni. Altro argomento di studio sono i fattori che hanno portato a una differenza clamorosa Haiti e Repubblica Dominicana, che si dividono la medesima porzione di

terra, l'isola di Hispaniola. Nel capitolo seguente Diamond si domanda perché l'isola di Pasqua è diventata l'isola più deforestata del Pacifico, «con pesanti conseguenze per la sua società umana dipendente dal legname». I capitoli conclusivi affrontano grandi perturbazioni, ovvero tratta degli schiavi africani, governo coloniale britannico in India e mutamenti istituzionali successivi alle conquiste della Rivoluzione francese, e le loro conseguenze storiche su vaste aree geografiche. Il tutto con un unico obiettivo, che la storia sia maestra di vita con basi sempre più solide.



RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 8,40 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per richiedere i volumi della collana **I manga delle scienze** al prezzo di € 9,90 incluse le spese di spedizione. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di

euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

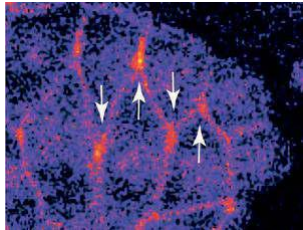
Che tempo fa su mondi lontani

Rilevati per la prima volta fenomeni meteo su un esopianeta gigante gassoso

Forti venti e nuvolosità variabile nell'arco della giornata. È il bollettino meteo dell'esopianeta HAT-P-7 b emerso dai dati del telescopio spaziale Kepler della NASA, che per quattro anni ha misurato le variazioni dell'intensità luminosa di HAT-P-7 b. Come riportato su «Nature Astronomy» da David Armstrong dell'Università di Warwick e colleghi, autori del bollettino, osservare cambiamenti irregolari nell'atmosfera di pianeti di altri sistemi stellari è ancora un obiettivo assai complicato da raggiungere (si veda *Il clima degli esopianeti* in «Le Scienze» n. 535, marzo 2013). Per la prima volta però è stata ottenuta una visione dell'evoluzione meteo per un gigante gassoso, come appunto HAT-P-7 b grande il 40 per cento in più del nostro Giove, la cui temperatura superficiale è di 1927 °C e orbita attorno alla stella madre in due giorni terrestri.



Il posto della cellula



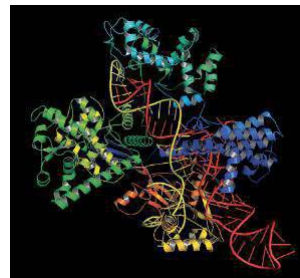
In movimento. Alcune delle cellule studiate mentre si posizionano al posto giusto grazie alla proteina CDC-42.

un'altra di queste proteine, indicata con la sigla CDC-42.

A essere precisi, da tempo era noto il ruolo di CDC-42 nel permettere alle cellule di distinguere il loro lato anteriore da quello posteriore e il sopra dal sotto. Walck-Shannon e colleghi hanno scoperto che questa proteina gioca un ruolo fondamentale nell'orchestrare lo sviluppo del tessuto connettivo embrionale, un processo solo in apparenza caotico. Il risultato è stato ottenuto per il verme *Caenorhabditis elegans*, tuttavia, specificano gli autori, è valido anche per l'essere umano, dato che CDC-42 è altamente conservata nella storia evolutiva dal verme fino alla nostra specie, come del resto le altre proteine che fungono da bussola nelle cellule di un organismo.

Editing umano

La tecnica CRISPR-Cas9 che permette di editare genomi con una facilità e rapidità senza precedenti è stata testata per la prima volta su esseri umani (si veda *L'enzima che rivoluziona la genetica* in «Le Scienze» n. 572, aprile 2016). La notizia è stata data da «Nature» in un articolo del giornalista David Cyranoski, secondo cui scienziati diretti dall'onco-



Guida e cesoie. CRISPR-Cas9 è composto da una guida a RNA che indirizza forbici proteiche verso il punto di taglio del DNA.

logo Lu You della Sichuan University a Chengdu hanno iniziato a testare CRISPR-Cas9 come strategia nella lotta a tumori al polmone.

Nello specifico, You e colleghi avrebbero prelevato cellule immunitarie da un paziente con una forma di tumore al polmone e le avrebbero editate in modo da disattivare il gene che codifica per la proteina PD-1, che in condizioni normali frena la risposta delle cellule immunitarie verso le cellule tumorali. Una volta fatte proliferare in coltura, le cellule immunitarie modificate sono state reinfuse nel paziente. Per il gruppo cinese questo è solo un test sulla sicurezza della procedura, che nei prossimi mesi dovrebbe riguardare altre nove pazienti.

Tre quasicristalli

C'è un nuovo membro nella piccola famiglia dei quasicristalli naturali, cioè strutture la cui struttura è a metà strada tra quella ordinata dei cristalli veri e propri, per esempio i minerali, e quella disordinata osservata, per esempio, nei materiali vetrosi (si veda *Cristalli impossibili, o quasi* in «Le Scienze» n. 522, febbraio 2012). Il nuovo arrivato è stato identificato da Paul Steinhardt della Princeton University, pioniere nello studio di queste strutture e Luca Bindi dell'Università di Firenze in un frammento di meteorite caduto nella regione orientale russa Khatyrka. Sempre dallo stesso frammento erano già stati identificati altri due quasicristalli, che differiscono tra loro e con il nuovo arrivato per struttura e composizione; l'ultimo arrivato inoltre è l'unico dei tre a non essere stato previsto per via teorica. I tre quasicristalli osservati nel meteorite sono gli unici esempi di queste strutture osservate in natura (si veda *L'impossibile caduto dal cielo* in «Le Scienze» n. 544, dicembre 2013), mentre sono ormai oltre un centinaio i quasicristalli sintetici, per la cui scoperta Daniel Shechtman nel 2011 ha ricevuto il premio Nobel per la chimica.

Una tuta per tornare a camminare

L'ingegnere irlandese Conor Walsh ha sviluppato un dispositivo robotico soffice per sostenere la deambulazione in persone con disordini neurologici

Un aiuto robotico per far tornare a camminare soggetti con problemi motori. L'idea è di Conor Walsh, trentacinquenne irlandese che fa ricerca alla Harvard University, e non è affatto peregrina. Ha già attirato l'attenzione di importanti finanziatori pubblici ed è stata da poco premiata con il Rolex Awards for Enterprise 2016 (*si veda il box a p. 12*), riconoscimento pensato per persone con idee originali che vogliono cambiare il mondo.

In effetti l'approccio di Walsh è assai diverso da quello seguito finora in robotica. Scordatevi esoscheletri rigidi e pesanti, di quelli, per intenderci, proposti in film di fantascienza. La soluzione di Walsh passa per una sorta di tuta, cioè un insieme di cavi, sensori, attuatori, unità di elaborazione dati e fasciature morbide che un soggetto può indossare senza sentirsi costretto in una struttura ingombrante e fissa, senza interfacce che penetrino nel corpo. Grazie a questo sistema il soggetto può sperimentare una camminata assistita, l'ideale per persone con difficoltà deambulatorie, per esempio pazienti colpiti da ischemia cerebrale – 15 milioni ogni anno secondo la World Heart Federation – al centro dell'attenzione di Walsh e colleghi, tramite una collaborazione con l'Università di Boston. A proposito di colleghi, durante il giro ad Harvard, dove lo abbiamo incontrati di recente, il ricercatore irlandese ha sottolineato spesso il ruolo dei suoi circa 30 collaboratori nello sviluppo della tuta robotica: è un lavoro di gruppo, ha spiegato, in cui ognuno è importante.

Come le è venuta in mente l'idea?

Quando ero dottorando al Massachusetts Institute of Technology (MIT) lavoravo con esoscheletri rigidi e avevo capito che aumentare le capacità delle persone in salute con questo approccio era una grande sfida. Così, quando in seguito sono diventato *faculty member* ad Harvard, ispirato da lavori di miei colleghi che lavoravano con la robotica *soft*, ho pensato che sarebbe stato bello rendere indossabile quella robotica soffice, in modo che potesse dare alle persone un impulso di energia al tempo giusto, e quindi farle muoversi e camminare in modo più efficiente.

Gli aspetti chiave di questa tuta, la *exosuit*, sono emersi fin dall'inizio, quando c'era un programma della statunitense Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) mirato a proposte per la costruzione di un robot indossabile, grazie a cui aiutare le persone a camminare in modo più efficiente. Vista la mia esperienza al MIT con gli esoscheletri, mi sono detto: «Ehi, proviamoci! Possiamo fare qualcosa di interessante». L'idea è stata una combinazione tra il mio arrivo ad Harvard, e quindi essere ispirato dai colleghi, e la richiesta della DARPA.

È vero che stato ispirato anche da un articolo pubblicato su «Scientific American»?



La tuta e le prove. La *exosuit* di Walsh e collaboratori montata su un manichino; a fronte un test di laboratorio alla Harvard University.

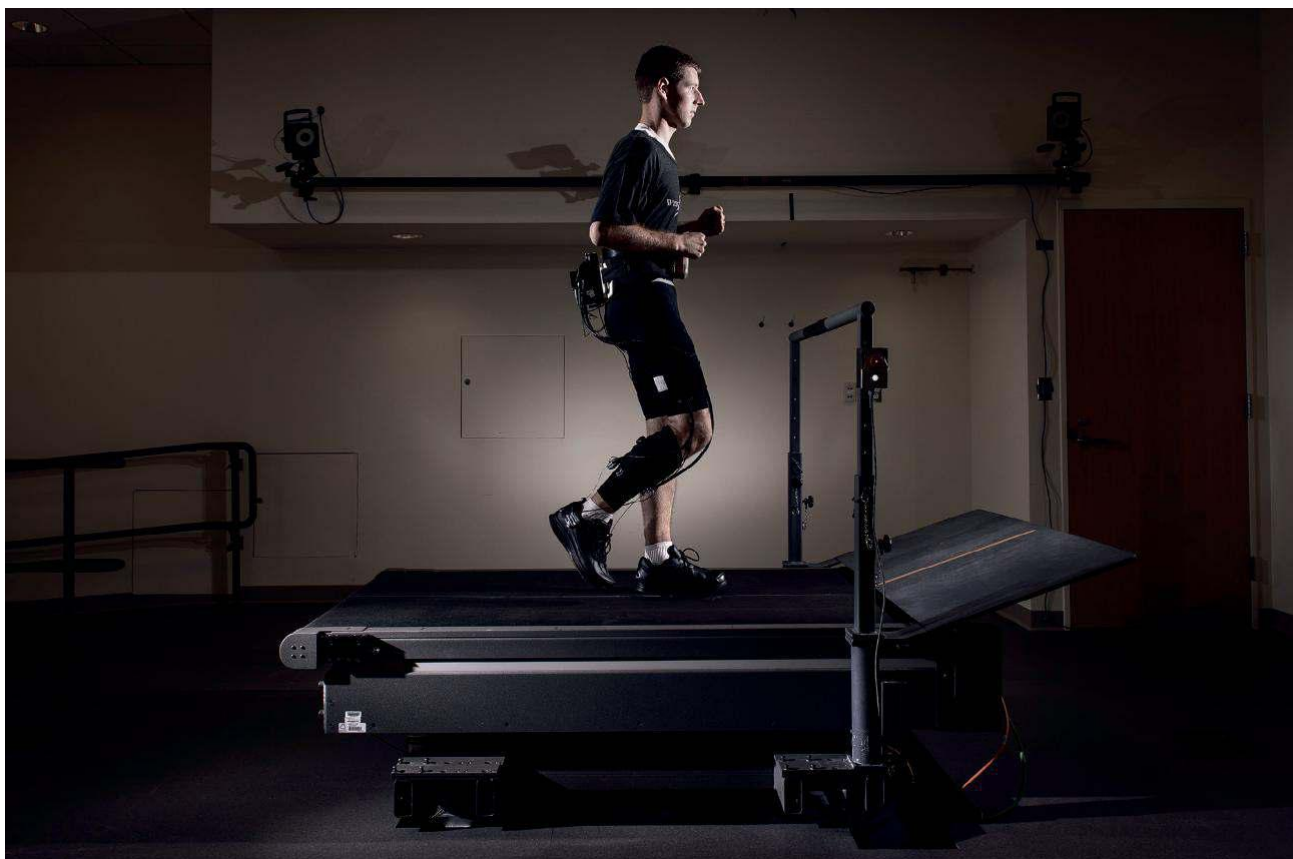


Conor Walsh è John L. Loeb Associate Professor di ingegneria meccanica e biomedica alla Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences, e Core Faculty Member al Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering della Harvard University do-

ve dirige l'Harvard Biodesign Lab, che ha fondato nel 2012.

Irlandese di nascita e istruzione, laurea in ingegneria meccanica e manifatturiera al Trinity College di Dublino, Walsh ha ottenuto un PhD in ingegneria meccanica al Massachusetts Institute

of Technology prima di trasferirsi ad Harvard per fare ricerca in ingegneria ispirata alla biologia e tecnologie indossabili, che hanno fruttato finora oltre 30 riconoscimenti pubblici e professionali, oltre una decina di domande di brevetto e oltre 100 pubblicazioni scientifiche.



Sì, è vero. All'inizio di tutto questo percorso, quando mi ero appena laureato al Trinity College di Dublino, cercavo di capire che cosa avrei voluto fare dopo. Stavo leggendo un articolo su «Scientific American», in cui c'era un esoscheletro di un progetto della DARPA sulla robotica indossabile per soldati, ed è stato una vera ispirazione. Mi sono detto che avrei voluto lavorare con quella robotica lì, per me era diventata la cosa più bella. Così ho fatto domanda al MIT, dove stava per iniziare un programma che si sarebbe concentrato sugli esoscheletri. Sarebbe stata la mia prima volta con questi dispositivi.

Quando è iniziato il progetto?

Abbiamo cominciato nel 2012; per il primo prototipo sono stati necessari sei mesi, era un prototipo molto rozzo, per il secondo abbiamo impiegato nove mesi. Abbiamo un nuovo prototipo in media ogni anno.

La tuta robotica che state sviluppando può essere utile sia a pa-

zienti con una storia di ictus sia a soggetti in salute?

La tecnologia è di fatto la stessa per entrambi, abbiamo motori, cavi sensori, componenti attaccati alle gambe che monitorano i movimenti di una persona e determinano il momento in cui dovrebbe esserci un'assistenza. Abbiamo iniziato su persone in salute perché è più facile effettuare test e sviluppare la tecnologia. Una volta provato che la tecnologia è sicura, abbiamo cercato di capire quali pazienti potessero trarne maggior beneficio e ci siamo rivolti a quelli con ictus perché è un problema enorme. Spesso sono persone con disabilità fisiche, non riescono a camminare bene. Ci siamo chiesti se fosse possibile dare a questi pazienti una spinta al momento giusto in modo da riportare i loro movimenti a un livello un po' più normale. Quindi la tecnologia è molto simile, deve solo essere adattata a ciascun individuo.

Quali sono gli ostacoli principali?

La parte più importante di questo progetto riguarda l'abbigliamento, le parti che vanno sul corpo e il tessuto. Dobbiamo pensare

Rolex Awards for Enterprise

Nel 2016 i Rolex Awards for Enterprise hanno compiuto quarant'anni. Istituiti nel 1976 dallo scomparso André J. Heiniger, presidente di Rolex, i riconoscimenti sono assegnati ogni due anni e danno un aiuto finanziario (100.000 franchi svizzeri, circa 93.000 euro), a progetti innovativi in cinque ambiti di ricerca: scienza e salute, tecnologia applicata, esplorazioni e scoperte, ambiente, tutela del patrimonio culturale.

La selezione dei vincitori spetta a una giuria internazionale di esperti. Nell'edizione del 2016, oltre a Conor Walsh, sono stati premiati: Andrew Bastawrous, oculista britannico che sta rivoluzionando l'assistenza oculistica nell'Africa subsahariana con un sistema portatile che permette di effettuare esami oculistici con uno smartphone; la peruviana Kerstin Forsberg, per un progetto in Perù mirato a proteggere le man-

te giganti lavorando con comunità locali e pescatori, in modo che seguano la strada dell'ecoturismo come fonte di reddito alternativa; la biologa marina tedesco-cilena Vreni Häussermann per un progetto dedicato alla protezione ambientale dei fiordi della Patagonia cilena; l'ingegnere ladakhi Sonam Wangchuk, che aiuta gli agricoltori dell'arido altopiano himalayano del Ladakh ad affrontare le carenze d'acqua.

ai cavi, a come attaccarli alla persona in modo che non si muovano troppo e che non siano scomodi. Quindi l'idea di ancorarli e attaccarli al corpo è stato un punto centrale del nostro lavoro.

Durante la visita ai laboratori ha sottolineato l'importanza dello sviluppo della robotica in tempi recenti

Nell'ultimo decennio il settore della robotica ha accelerato parecchio. Motori, batterie, microprocessori, componenti elettronici, tutto questo sta migliorando. Ne abbiamo tratto beneficio in termini di miniaturizzazione e prestazioni, abbiamo potuto bilanciare questi avanzamenti e integrarli in un sistema molto leggero e portatile per una persona. Quando ho iniziato al MIT, più di dieci anni fa, guardavo alla robotica un po' come alla fantascienza, qualcosa da poter fare solo in laboratorio. Ora invece stiamo vedendo differenti aspetti dei robot che iniziano ad apparire nella società; vediamo automobili che si guidano da sole e molte aziende che hanno messo in commercio prodotti per la robotica indossabile. Se me lo avessero chiesto dieci anni fa, non avrei pensato che tutto questo sarebbe potuto accadere.

Ci sarà spazio per l'intelligenza artificiale nel vostro esoscheletro soffice?

Abbiamo sensori che monitorano come si sta muovendo una persona, e usiamo quelle informazioni per assistere la persona osservando tempo e livello della velocità di assistenza. Come prossimo passo possiamo pensare a un sistema che impari come cammina una persona. Per esempio, nel caso di un paziente con ictus, se il sistema inizia ad assistere il soggetto, potrebbe imparare che sta migliorando e potrebbe continuare a rilevare parametri e cambiare la tempistica dell'assistenza in modo da rendere i parametri specifici allo stile della camminata di quella persona. Credo sia un concetto interessante su cui lavorare.

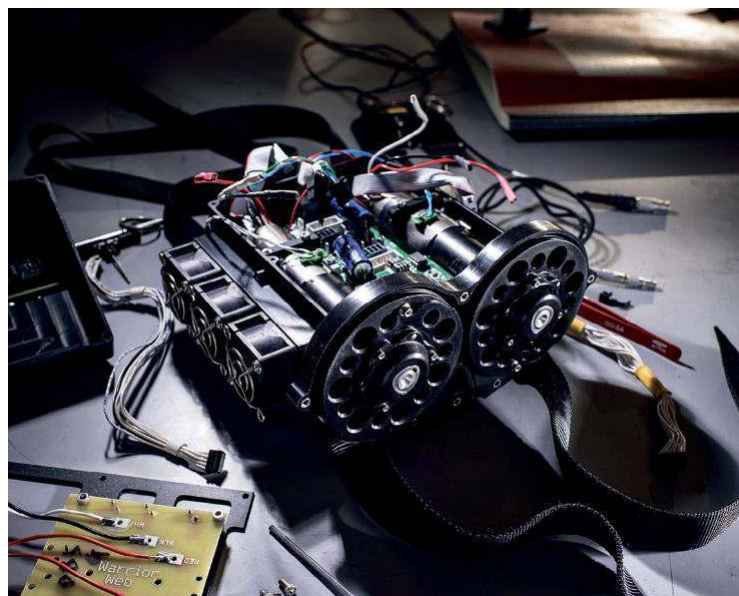
Quali risultati avete ottenuto?

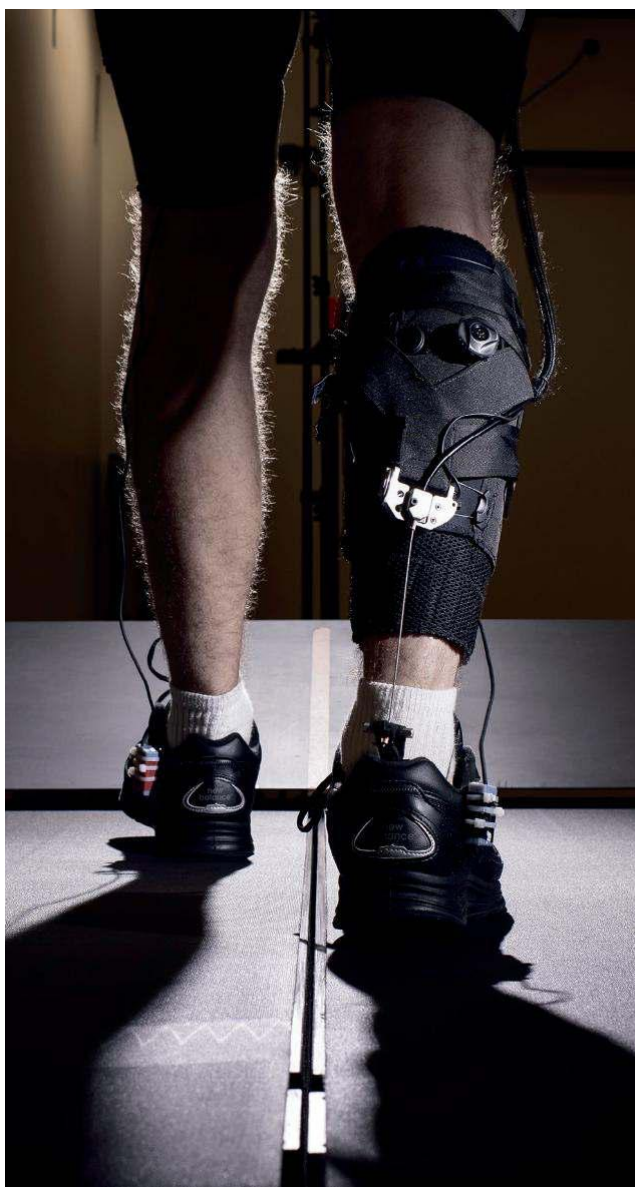
Su soggetti in salute abbiamo registrato risultati entusiasmanti. Quando indossano la tuta possiamo farli camminare con uno sforzo minore del sette per cento. I pazienti con ictus possiamo farli camminare più simmetricamente, possiamo aiutarli a camminare più speditamente e con meno energia.

Quanto è distante l'applicazione clinica?

Per ora abbiamo effettuato numerosi trial con pazienti per aiutare i ricercatori a sviluppare la tecnologia. Ora che la tecnologia sta diventando più raffinata pensiamo che il prossimo grande pas-

Lavoro di gruppo. Analisi dei test della exosuit, il motore che alimenta la tuta robotica (*in basso*). A fronte: Walsh e un collega assemblano la tuta su un manichino (*sopra*); particolare di un test.





saggio sarà far diventare il nostro prototipo un prodotto grazie all'azienda con cui abbiamo una partnership, la ReWalk Robotics. Questo prodotto sarà testato in trial clinici.

La vostra tuta robotica potrebbe essere utile anche per pazienti con problemi diversi rispetto all'ictus?

Abbiamo tutto per adattare la tecnologia e farla funzionare a dovere con pazienti con morbo di Parkinson oppure sclerosi multipla, per esempio. È qualcosa che ci piacerebbe fare in futuro. Tuttavia abbiamo iniziato con l'ictus perché abbiamo ritenuto che fosse un problema di dimensioni notevoli.

Oltre alle gambe questa tecnologia potrebbe essere sviluppata per altre parti del corpo?

Sì, ci siamo concentrati sulla caviglia e possiamo mirare all'articolazione dell'anca in alcuni pazienti. Ci sono casi in cui si può voler aiutare pazienti a sollevare le braccia od oggetti, effettuare attività quotidiane. È un'altra area che potrebbe essere interessante. Stiamo sviluppando diversi approcci per le braccia, da cui potrebbero trarre beneficio persone con lesioni spinali, aiutandole a sollevare gli arti superiori e ad afferrare oggetti.

Quale potrebbe essere l'utilità per persone in salute?

Per esempio per i soldati, che trasportano carichi pesanti, come 45 chilogrammi per una ventina di chilometri di camminata, la tuta potrebbe essere di aiuto, potrebbe farli stancare meno durante marce del genere e diminuire gli infortuni. Magari un giorno anche le persone che vorranno fare escursioni potranno indossare uno di questi sistemi ed essere attive per un tempo più lungo.

Qual è il budget per questo progetto e quanto costerà la tuta una volta sul mercato?

Non sono sicuro dell'esatto budget corrente, ma siamo nell'ordine di diversi milioni di dollari negli ultimi due anni, ricevuti da DARPA e National Science Foundation. Riguardo al costo una volta sul mercato, è la parte più difficile da dire per me. Non siamo concentrati sulla produzione. Tutto quello che posso dire è che gli esoscheletri già sul mercato costano tra 70.000 e 200.000 dollari, ma pensiamo che il nostro sistema avrà prezzi più accessibili. La versione medica dovrebbe essere pronta tra tre anni.

Agricoltura intelligente

Evja ha sviluppato un sistema di supporto decisionale che previene l'insorgere di patogeni e rende più efficienti potatura, irrigazione e gestione delle piantagioni

Di fronte alla forza della natura e alla variabilità del tempo atmosferico, per ottenere un buon raccolto gli antichi Romani pregavano la dea Opi, personificazione della Terra e dispensatrice dell'abbondanza. Nel 2016 gli agricoltori si possono affidare ancora a Opi per assicurarsi che le colture crescano al meglio, ma non si tratta certo di una divinità.

«OPI sta per Osserva-Prevedi-Intervieni, ed è un sistema di supporto decisionale per aziende agricole. Grazie a una rete di sensori e algoritmi previsionali, OPI permette di monitorare in tempo reale le colture e prevedere l'insorgere di parassiti», spiega Paolo Iasevoli, responsabile dell'area business e marketing di Evja, la *start-up* campana che produce il sistema. «Il risultato è un risparmio economico, un uso ridotto di fitofarmaci e un prodotto più bio». Non male per un'azienda che nasce e opera nella cosiddetta «terra dei fuochi».

Una rete per i campi

Evja è di Acerra, a pochi chilometri da Napoli, e da qui vengono anche i suoi fondatori, tre amici con interessi e competenze diversi che due anni fa hanno deciso di mettersi insieme per lavorare nella cosiddetta «*smart agriculture*». «L'obiettivo chiaro fin dall'inizio era lavorare nel mondo dell'Internet of Things costruendo una rete di sensori che facessero comunicare le cose», spiega ancora Iasevoli, di Pomigliano d'Arco e amico dei tre soci fondatori, ai quali si è aggiunto a inizio 2016, dopo essersi occupato per molti anni di *business development* in giro per l'Europa. «Era meno chiaro, invece, quale fosse il campo giusto per applicare l'idea. Così abbiamo studiato il mercato e abbiamo capito che, a partire dal nostro territorio, il settore più promettente era quello dell'agricoltura».

Inizia così la collaborazione con la facoltà di agraria dell'Università degli Studi di Napoli «Federico II» che permette a Evja di acquisire le competenze specifiche necessarie. Prima di questa avventura, nessuno di loro aveva messo piede su un campo coltivato: uno dei soci, ingegnere, progettava radar; un altro era manager in un'azienda informatica, e il terzo ha un *background* economico-giuridico. Con le scarpe sporche di fango, i soci capiscono quali sono i fattori chiave che gli agricoltori devono tenere sotto controllo per avere una coltura abbondante. E si mettono al lavoro.

Nasce così il sistema OPI. Dal punto di vista *hardware*, si tratta di una rete di sensori connessa in modalità *wireless* che funziona in modo autonomo. Il programma invece si avvale di algoritmi che elaborano in tempo reale le informazioni provenienti dai sensori. «L'installazione del prodotto sul campo è intuitiva e non invasiva. I sensori monitorano costantemente i dati relativi ai fattori critici delle colture come temperatura, umidità, luminosità e ba-

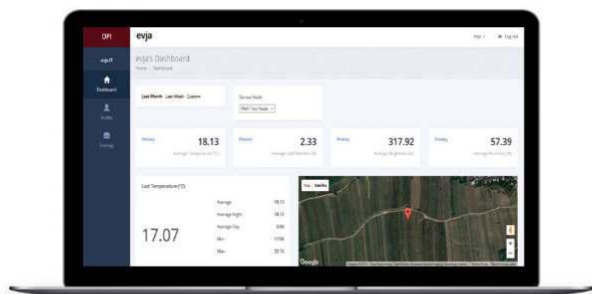
LA SCHEDA			
Evja			
	Fatturato		Investimenti in ricerca
	n.d.		50.000 euro
	Dipendenti/collaboratori		Brevetti rilasciati
	4 di cui 2 impiegati in R&S		1 in fase di approvazione



gnatura delle foglie. Le informazioni sono inviate alla piattaforma *software*, dove sono processate attraverso modelli previsionali e il risultato è presentato in tempo reale sulla *dashboard* accessibile da Web e dispositivi mobile», va avanti Iasevoli. In questo modo tutti i soggetti coinvolti nella gestione della coltivazione possono accedere in tempo reale a tutte le informazioni necessarie, dovunque essi si trovino.

Lo studio del mercato e delle esigenze permette di identificare due categorie specifiche di aziende agricole: quelle della IV Gam-

Cortesia Evja (tutte le immagini e illustrazioni, in questa pagina e nella pagina a fronte)



Flusso di dati.

Qui sotto e in basso il sistema hardware di Evja installato nel vigneto della più grande azienda agricola austriaca; sopra, una schermata dei dati elaborati dal sistema su PC e su smartphone, e uno schema del sistema.



ma e quelle vitivinicole. «Nel primo caso si tratta di coltivazioni in serra di ortaggi da foglia, che l'azienda stessa provvede a imballare e a vendere alla grande distribuzione. Le aziende operanti in questo settore adottano processi industriali e sono propense a sperimentare nuove tecnologie. Inoltre le colture di IV Gamma hanno cicli intensivi durante tutto l'anno. Nel secondo caso parliamo di uno dei settori più importanti nel mercato alimentare italiano in termini sia di fatturato sia di importanza strategica e di immagine», dice Iasevoli.

Potere all'agricoltore

Oggi le collaborazioni scientifiche si sono allargate ed Evja lavora fianco a fianco anche con l'ENEA e l'Istituto zooprofilattico sperimentale del mezzogiorno di Portici, vicino a Napoli. Queste collaborazioni hanno permesso ai giovani imprenditori - i soci sono tutti under 35 - di costruire un sistema efficiente ed efficace. Tanto che da quando Evja si è affacciata sul mercato le richieste sono piovute una dopo l'altra. Per ora i ragazzi di Napoli lavorano con alcune aziende che producono insalata da taglio nella zona di Salerno e hanno accettato la sfida lanciata dalla più grande azienda agricola austriaca di occuparsi anche di vigne. Ma il sistema OPI, con opportuni aggiustamenti, si può applicare a qualsiasi coltura, dalle patate ai pomodori, dalle mele alle pesche.

«I sensori sono collocati nei punti strategici in base alla morfologia del terreno in modo da monitorare zone uniformi e si programmano per rilevare i parametri richiesti. La comunicazione con il sistema in remoto può avvenire tramite rete *wi-fi* e mobile, ma anche attraverso le onde radio, grazie ad antenne a basso consumo che coprono 30 chilometri di raggio. In questo modo, anche nelle zone dove il wireless non arriva OPI funziona senza problemi», va avanti Iasevoli. I dati sono quindi spediti al sistema che li elabora e li restituisce all'agricoltore.

Sul computer, o anche su cellulare e *tablet*, però, non appaiono i risultati grezzi della rilevazione in campo bensì una elaborazione di alto livello che si ottiene incrociando i dati secondo algoritmi messi a punto da Evja. «In questo modo quando uno o più parametri scendono sotto la soglia considerata di sicurezza si genera un messaggio di allerta. L'ultimo a decidere rimane comunque sempre l'agricoltore: il nostro è un sistema di supporto decisionale non un sistema autonomo. La differenza è che prima l'agricoltore poteva affidarsi solo alla sua conoscenza delle variazioni stagionali per prevedere quanta acqua, concime o fitofarmaci dare alle proprie colture, ora segue passo dopo passo e con precisione scientifica quello che succede», conclude Iasevoli. Gli antichi si affidavano alle divinità, oggi preferiamo la tecnologia.





Cosmologia e filosofia

Che cosa ha di particolare la cosmologia che la distingue da tutte le altre scienze?

“La filosofia sottostà ai nostri approcci alla cosmologia». Così si apre il contributo del noto astrofisico e cosmologo George Ellis al numero speciale della rivista «Studies in History and Philosophy of Modern Physics» dedicato agli aspetti filosofici della moderna cosmologia e uscito nel 2013. Un contributo il cui proposito dichiarato è proprio di mostrare come «la cosmologia trarrà benefici dal rendere esplicite le questioni filosofiche sottostanti». Delle questioni filosofiche che possono sorgere in relazione alla cosmologia, tanto da motivare alla riflessione anche scienziati che lavorano nel campo, si è già trattato in parte nella rubrica di maggio 2015. Qui ci soffermiamo in particolare sulla questione della loro specificità.

Anzitutto è bene precisare che la cosmologia a cui si riferiscono questo tipo di considerazioni è quella «scientifica». Si tratta cioè della disciplina che si occupa della struttura ed evoluzione dell'universo fisico nel suo complesso, la cui nascita come «scienza» viene comunemente fatta risalire ai primi modelli fisici dell'universo resi possibili dalla teoria della relatività generale, a partire da quello elaborato dallo stesso Einstein nel 1917. È una disciplina i cui sviluppi sono strettamente intrecciati non solo con quelli dell'astronomia e dell'astrofisica, com'è naturale, ma anche – specialmente per quanto riguarda gli ultimi decenni – con quelli teorici e sperimentali della fisica fondamentale, dalla fisica delle particelle elementari alle ricerche sulla gravità quantistica.

Da una parte, quindi, le questioni che possono essere trattate dal punto di vista della riflessione filosofica sui fondamenti e la metodologia delle teorie cosmologiche sono del tutto simili a quelle relative alle teorie e metodologie di altri settori della fisica, e in particolare a quelli della fisica fondamentale. Ma nel caso della cosmologia acquistano una connotazione del tutto particolare, e questo è dovuto al fatto che la disciplina presenta specificità molto significative.

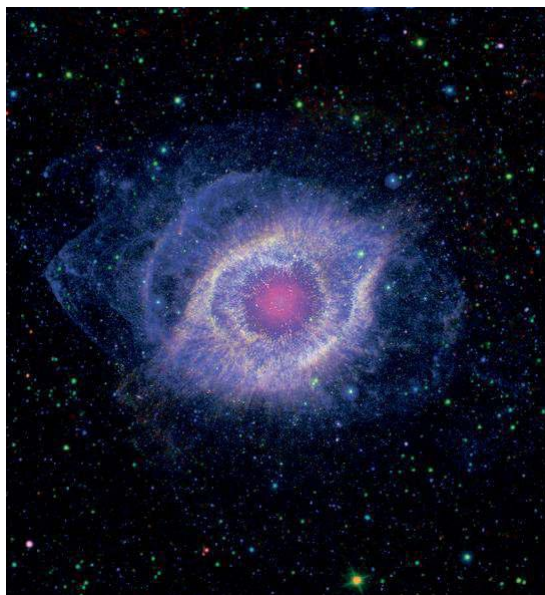
La ragione prima di queste specificità risiede nella natura dell'oggetto d'indagine. L'universo, se inteso come tutto quello che esiste in senso fisico, è per definizione unico: non c'è nulla

all'infuori di esso ed è dato una sola volta. A differenza di quanto succede nelle altre discipline a carattere empirico, non è possibile compiere esperimenti sull'intero universo (come se ne potessimo uscire fuori), per controllare o confermare – secondo la metodologia scientifica usuale – le diverse teorie o modelli cosmologici. Non ci sono oggetti simili con cui confrontarlo (in modo da applicare, per esempio, considerazioni statistiche all'insieme degli universi esistenti) ed è problematico distinguere tra legge e condizioni iniziali. Non è possibile, inoltre, far ripercorrere all'universo le tappe della sua evoluzione in modo analogo a quando si ripete un esperimento. In questo senso si dice che la cosmologia è una scienza storica per eccellenza, con la peculiarità che si tratta di una storia del tutto unica, non paragonabile a nessun'altra.

La conoscenza dell'oggetto d'indagine è quindi inevitabilmente parziale, sia nello spazio sia nel tempo, e basata su estrapolazioni – che devono essere giustificate – da teorie locali a teorie sull'universo come un tutto (incluendo anche la concezione, per ora puramente speculativa, che ipotizza più universi: parlare di multiverso non risolve infatti la maggior parte dei problemi accennati, comportandone solo il rimando al multiverso come un tutto). Un fatto a cui si aggiungono anche i limiti fisici posti alle osservazioni possibili: si possono ottenere informazioni solo da radiazioni arrivate fino a noi, da onde gravitazionali (ora una concreta possibilità di osservazione) e dai neutrini cosiddetti fossili, e ci sono diversi vin-

coli fisici, anche dipendenti dalle scelte di modelli teorici e di selezioni di dati compiute, che limitano le aree a noi accessibili.

Non sorprende, in definitiva, che la cosmologia abbia dato origine anche a un settore specifico della filosofia della fisica, la filosofia della cosmologia. Né che a quest'ambito di riflessione partecipino con interesse anche alcuni dei protagonisti della ricerca cosmologica: un ambito in cui si discutono – oltre alle particolarità e legittimità dei modelli cosmologici e delle metodologie applicate – anche questioni come quelle relative alla natura dello spazio-tempo (se per esempio sia fondamentale o emergente) o lo statuto dei principi usati per restringere la scelta tra i modelli cosmologici possibili (come il controverso «principio antropico»).



La specificità dell'indagine cosmologica ha dato origine a un settore specifico della filosofia della scienza.



di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Un sonno trasversale

Tratti fondamentali del ritmo sonno-veglia sono costanti in tutto il regno animale

Di recente è stato studiato il sonno e la regolazione del ritmo sonno-veglia in un rettile australiano. Si è visto che tutto questo somiglia al nostro sistema di regolazione sonno-veglia e che anche in questi draghetti ci sono fasi di sonno REM e fasi NonREM. Il sonno chiamato REM, o sogno paradossale, riguarda quattro o cinque fasi della nostra nottata in cui, pur dormendo, muoviamo in circolo i bulbi oculari (REM sta per *rapid eye movement*). Se veniamo svegliati durante una di queste fasi, raccontiamo spesso di stare sognando. Le fasi di sonno REM sono molto frequenti nell'infante e nel bambino, mentre si rarefanno con l'avanzare dell'età. Se si impedisce a un volontario di avere abbastanza sonno REM, svegliandolo appena inizia una di queste fasi, di giorno si mostra molto più stanco e appena può, dorme saporitamente, recuperando molto sonno REM. Il sonno NonREM indica invece collettivamente tutte le altre forme di sonno.

Il fatto che i tratti fondamentali del fenomeno sonno siano così costanti nel regno animale mostra che si tratta di un meccanismo molto importante e fa sperare di riuscire a comprendere sempre meglio tutti i meccanismi, i circuiti nervosi e perfino i singoli neuroni - sempre più numerosi e sempre più sorprendenti - implicati nel controllo del fenomeno stesso. Molte cose si sono imparate di recente, ma il quadro è tutt'altro che completo. Un recente articolo di rassegna di Franz Weber e Yang Dan, entrambi dell'Università della California a Berkeley, pubblicato su «Nature» (Vol. 538, pp. 51-59) fa il punto su alcuni di questi processi.

Una cosa si sa ormai con certezza. La modulazione circadiana, della misura approssimata di 24 ore (*circa diem*) cioè, del ritmo sonno-veglia dipende quasi totalmente dal nucleo soprachiasmatico (SCN) ipotalamico, il *pacemaker* principale dell'intero organismo. Una sua lesione o una lesione delle regioni che si trovano sotto il suo diretto controllo, alterano il ritmo diurno sonno-veglia, senza alterare la quantità del sonno stesso, dimostrando che il nucleo SCN è parte della regolazione temporale del sonno ma non della generazione del sonno stesso.

I neuroni del nucleo SCN sono molto attivi durante il giorno soggettivo dell'organismo e poco attivi durante la notte, indipendentemente dal fatto che si tratti di un organismo con abitudini diurne o notturne. Questa alternanza è a sua volta sotto il controllo diretto dello stato di luce o di buio del mondo circostante. Dopo un volo intercontinentale, sono queste condizioni che fanno riag-

giustare il nostro ritmo sonno-veglia, anche se dopo qualche tempo. Il nucleo SCN contiene molti tipi di neuroni diversi e controlla direttamente molte altre sedi ipotalamiche, come il nucleo ipotalamico dorsomediale (DMH), fino ad arrivare al *locus coeruleus* (LC) localizzato nel tronco cerebrale, un centro vitale per la generazione e la caratterizzazione del sonno, attraverso il mantenimento dello stato di veglia diurno, e di molte altre cose. Il nucleo DMH sembra giocare un ruolo fondamentale perché una sua alterazione influenza la regolazione del ritmo sonno-veglia.

Si è visto di recente che questo nucleo contiene sia neuroni che stimolano sia neuroni che inibiscono lo stato di veglia. Quello che



Il pisolino dell'iguana. Uno studio su rettili ha mostrato che il sistema di regolazione sonno-veglia in questi animali somiglia a quello degli esseri umani.

si vuole capire è la natura della generazione del sonno REM e che cosa controlla l'alternarsi di sonno REM e NonREM, una questione importante per il benessere dell'intero organismo, anche umano. Tuttavia, nonostante questi avanzamenti, ottenuti spesso con tecniche nuove, ci sono ancora molte cose che ci sfuggono del processo. Tra le tecniche nuove e spettacolari vale la pena di segnalare l'optogenetica, che permette di sopprimere selettivamente singoli neuroni con fasci laser di grande precisione. Si tratta in sostanza di una sorta di anatomia di precisione esercitata non in base ad aspetto o posizione dei singoli neuroni, ma sulla base della loro funzione. Si potrebbe parlare allora di microchirurgia funzionale, basata su raggi luminosi e informata dalla genetica.

di Piergiorgio Odifreddi

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)



La drososila assiomatizzata

L'approccio assiomatico può essere applicato anche a concetti non matematici

David Hilbert è stato il più grande matematico a cavallo tra Ottocento e Novecento, insieme a Henri Poincaré, e uno dei più grandi filosofi della matematica di inizio Novecento, insieme a Bertrand Russell e Luitzen Brouwer. Mentre questi proponevano entrambi una riduzione della matematica, il primo alla sola logica e il secondo ai soli aspetti costruttivi, Hilbert ampliò in due direzioni l'approccio assiomatico già adottato da Euclide: studiando, da un lato, le proprietà metamematiche degli assiomi, come indipendenza, consistenza e completezza, e, dall'altro lato, le proprietà strutturali delle dimostrazioni, come lunghezza ordinale e complessità logica.

Tra i vantaggi dell'approccio assiomatico che Hilbert sottolineava c'era la possibilità di molteplici interpretazioni, dunque di molteplici applicazioni, dei vari sistemi. Emblematica di questa concezione è diventata una sua osservazione a proposito del fatto che se alcuni concetti soddisfano tutti gli assiomi dei punti, delle linee e dei piani, allora devono anche soddisfare tutti i teoremi della geometria: fossero pure concetti apparentemente non matematici come *Tavoli, sedie, boccali di birra*, il titolo del recente bel libro di Gabriele Lolli (Raffaello Cortina, 2016) che analizza in dettaglio il lavoro fondazionale di Hilbert.

Che dicesse sul serio è dimostrato da un suo articolo del 1930, *Conoscenza della natura e logica*, in cui si legge: «La drososila è una piccola mosca di grande interesse. Normalmente questo moscerino è grigio, ha gli occhi rossi, è senza macchie e ha le ali rotonde e lunghe. Ma ci sono anche moscerini in cui queste cinque caratteristiche sono differenti, e le deviazioni dai normali accoppiamenti fra le varie caratteristiche si registrano nella discendenza in una ben definita percentuale costante. Per i numeri così trovati sperimentalmente valgono gli assiomi euclidei della congruenza e gli assiomi dello «stare fra»: quindi, le leggi dell'ereditarietà si ricavano come applicazione degli assiomi della congruenza lineare, cioè dei teoremi geometrici elementari sul trasporto dei segmenti, con tanta semplicità e precisione, e al tempo stesso in maniera tanto meravigliosa, quale nemmeno la più audace fantasia avrebbe immaginato».

Hilbert non offre dettagli, ma una lettura della saga della ricerca sulla drososila raccontata da Martin Brookes in *Dio creò la mosca* (Longanesi, 2003) permette di ricostruire cosa intendesse.

La storia inizia nel 1910, quando Thomas Morgan fece la prima grande scoperta sulla drososila: un moscerino con gli occhi bianchi anziché rossi. L'incrocio della «mosca bianca» con una femmina dagli occhi rossi produsse una prima generazione di figli e figlie tutta con gli occhi rossi, mentre nella seconda generazione gli occhi bianchi ricomparvero, in proporzione di circa 1 su 4: tutte le nipoti avevano gli occhi rossi, mentre metà dei nipoti avevano gli occhi rossi, e metà bianchi. La spiegazione di Morgan fu

che il gene del colore degli occhi doveva stare sul cromosoma X, e quello del colore rosso doveva essere dominante. In questo modo nella prima generazione sia i maschi (XY) sia le femmine (XX) hanno una copia del gene dominante della madre, e dunque gli occhi rossi. Nella seconda generazione le femmine continuano ad avere gli occhi rossi perché ricevono dal padre il gene rosso, ma i maschi hanno il colore determinato dai gene della madre, che ne ha uno rosso e uno bianco: dunque, metà dei maschi hanno gli occhi rossi e metà bianchi. Morgan osservò poi che la mutazione di un altro gene sul cromosoma X provocava cambiamenti nelle ali, ma in maniera indipendente dalle mutazioni del gene degli occhi. Questo significava che un processo di ricombinazione dei cromosomi appaiati effettua un «copia e

incolla» dei geni, e la frequenza con cui le mutazioni compaiono accoppiate negli individui è una misura di quanto i relativi geni siano vicini o lontani sul cromosoma.

I geni sui cromosomi sono dunque ordinati linearmente, e si trattava di individuare la mappa della disposizione dei cinque geni fino ad allora scoperti sul cromosoma X, a cui alludeva appunto Hilbert, in base alla frequenza degli accoppiamenti delle mutazioni. Cosa che fu fatta nel 1911, in una sola notte, dal diciannovenne studente Alfred Sturtevant, appunto come un banale esercizio geometrico di applicazione (ai geni sui cromosomi) delle proprietà della relazione «stare fra» (dei punti sui segmenti), ma contribuì a far vincere a Morgan il Nobel per la medicina nel 1933.



Un esercizio geometrico sui geni della drososila contribuì a far vincere il Nobel per la medicina a Thomas Morgan.



di Amedeo Balbi

Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Un pianeta davvero speciale

La colonizzazione di altri corpi celesti non permetterà mai di sostituire la Terra

Una delle cose più importanti che si capiscono studiando l'universo è quanto sia speciale il pianeta dove ci è capitato di nascere. Non speciale nel senso di privilegiato o superiore, ma nel senso di prezioso. Prezioso per noi e per tutte le altre forme di vita che si sono adattate a viverci, attraverso un lungo e accidentato percorso di selezione naturale. La sensazione immediata, viscerale, della bellezza e della fragilità della Terra è comune a tutte le donne e gli uomini che hanno avuto la fortuna di osservarla dallo spazio: ha anche un nome, «*overview effect*», termine coniato dallo scrittore Frank White nel 1987 dopo aver intervistato 29 astronauti.

Anche senza salire su una nave spaziale, sappiamo ormai abbastanza sui meccanismi che rendono un pianeta adatto alla vita da essere consapevoli della particolarità della Terra. Il caso ha fatto sì che una quantità incredibile di ingredienti si amalgamassero nella miscela «giusta» per rendere il nostro pianeta abitabile e relativamente stabile per gran parte della sua storia geologica.

Non era affatto scontato che fosse così, basta guardare ai nostri due vicini – Venere bruciante e soffocato dai gas serra, Marte gelido e spoglio – per rendersi conto di come sarebbero potute andare le cose se le condizioni iniziali fossero state diverse. Lo studio dei pianeti extrasolari sta ulteriormente rafforzando la comprensione della complessa dipendenza tra le variabili che regolano le condizioni ambientali di un pianeta. E anche del ruolo che può avere la nostra stessa azione sull'equilibrio della Terra.

Non è vero, come talvolta si dice, che siamo la sola specie in grado di alterare l'ambiente terrestre su scala globale. I cianobatteri che poco più di due miliardi di anni fa iniziarono a pompare ossigeno nell'atmosfera, sterminando la maggior parte degli organismi anaerobi precedenti e preparando l'arrivo delle forme multicellulari, sono un esempio di come la vita possa plasmare radicalmente le condizioni di un intero pianeta. Ma noi esseri umani siamo certamente gli unici in grado di farlo consapevolmente, e su scale di tempo rapidissime.

Ormai non ci sono più dubbi sul fatto che l'attività umana sia la principale responsabile del rapido riscaldamento del pianeta. Lo scenario non è confortante. Il 2016 è stato l'anno più caldo da quando esistono misure dirette, e le temperature medie globali so-

no ormai pericolosamente vicine alla soglia di 1,5° C sopra quelle dell'epoca pre-industriale. Negli ultimi mesi i ricercatori hanno assistito sempre più preoccupati a quello avviene nella regione artica, in pieno inverno: il ghiaccio non si riforma ai ritmi consueti, e le temperature attorno al Polo Nord sono fino a 20° C superiori alla media stagionale.

Tutto questo accade mentre il cambio alla guida degli Stati Uniti, e l'insediamento di un'amministrazione certo non particolarmente sensibile al tema dei mutamenti climatici provocati dall'uomo, rischiano di sottrarre risorse preziose allo studio della Terra, magari indorando la pillola con la vaga promessa di



Il sorgere della Terra visto dalla Luna. Il nostro pianeta è divenuto – e rimasto – abitabile grazie all'amalgama casuale di una quantità incredibile di ingredienti nella «giusta» miscela.

concentrarsi sull'esplorazione del cosmo e del sistema solare, o sulla colonizzazione di altri pianeti. Ma per quanto entusiasmante sia l'idea di spingerci fuori dalla nostra culla, o di trovare prima o poi altri mondi adatti alla vita intorno ad altre stelle, sappiamo già che nulla potrà mai sostituire completamente la Terra. Il nostro pianeta è, verosimilmente, l'unica casa possibile per noi e per la vita che conosciamo.

Immaginare un futuro multi-planetario per la nostra specie è un'idea potente, che va certo perseguita: ma non deve farci perdere di vista la realtà. Amare l'universo, esplorarlo e capirlo, significa anche rendersi conto della precarietà del nostro piccolo mondo, e di come il nostro destino dipenda dal suo benessere.



Sulle tracce dell'harem di Lucy

Scoperte a Laetoli nuove impronte di ominidi datate a più di 3,6 milioni di anni fa

Chiunque si interessi di evoluzione umana, conosce bene il nome di Laetoli e può collocare la località a occidente del sistema vulcanico di Ngorongoro, a metà strada fra il Lago Eyasi a sud e la colossale incisione della Gola di Olduvai più a nord, preludio a sua volta delle grandi distese pianeggianti del Serengeti. Lì a Laetoli, negli anni settanta, un gruppo di ricercatori guidati dall'ormai leggendaria Mary Leakey rinvenne reperti fossili di circa 3 milioni e mezzo di anni, cioè parecchio più antichi di quelli che stavano emergendo dalle scarpate di Olduvai.

Fra i fossili rinvenuti a Laetoli, c'era la piccola mandibola che sarebbe stata eretta a reperto di riferimento della specie di *Australopithecus* cui appartiene il più noto scheletro di Lucy, rinvenuto in quegli stessi anni, ma più a nord, in Etiopia. Poi, nel 1978, Mary Leakey e i suoi riportarono alla luce la pista di impronte per la quale il sito di Laetoli è maggiormente conosciuto. Si tratta delle tracce che tre individui bipedi lasciarono sulle ceneri eruttate da un vicino cratere vulcanico e rese umide e compatte dalla pioggia.

I tre sono di taglia diversa. Dalle impronte si deduce che uno era più grande, e camminava fianco a fianco, forse a stretto contatto fisico con un individuo più piccolo, mentre un terzo individuo, anch'esso relativamente piccolo, metteva i piedi nelle impronte lasciate dal primo.

È stato come se un riflettore si fosse acceso su una scena preistorica, tanto che ricercatori, divulgatori e illustratori scientifici si sono sbizzarriti nell'interpretarla. Chi non ha visto una di quelle ricostruzioni le può cercare on line: ne troverà diverse e quasi tutte mostrano un maschio bipede e peloso, con la faccia vagamente da scimpanzé, accompagnato da una femmina, simile a lui ma un po' più piccola; magari i due si tengono a braccetto e sono seguiti dall'altro, forse un cucciolo; talvolta la femmina è rappresentata incinta. Insomma, una coppia con la prole. Tutto molto umano, malgrado le apparenze da «pianeta delle scimmie».

Ma i nostri dati dicono che le cose non stanno così. Con lo staff della Scuola di paleoantropologia (operativa dal 2011 presso l'Università di Perugia, in collaborazione con altri atenei fra cui la Sapienza di Roma) ci troviamo su quel territorio del nord della

Tanzania da alcuni anni. Siamo così stati coinvolti nella scoperta di nuove tracce bipedi che vennero impresse sullo stesso strato di cenere umida, a poco più di cento metri da quelle messe in luce alla fine degli anni settanta.

Sono emerse da tre sondaggi, ma è facile prevedere che si sviluppino in sequenza almeno per una trentina di metri, combinate con le impronte di molti altri animali. Le nuove tracce descrivono la presenza di almeno altri due individui bipedi, che camminavano nello stesso momento e nella stessa direzione degli altri tre già noti. Nel settembre 2015, abbiamo rilevato le nuove impronte con tecniche di fotogrammetria (e anche le vecchie, disponibili in cal-



Quattro delle nuove tracce bipedi trovate nel sito di Laetoli. A lasciarle fu un individuo di grandi dimensioni probabilmente appartenente alla stessa specie di Lucy (*Australopithecus afarensis*).

co). Abbiamo poi speso gran parte del 2016 a lavorare sui dati e a preparare la pubblicazione che ora è apparsa sulle pagine della rivista «eLIFE».

Il risultato più eclatante è che uno dei due «nuovi» individui è di taglia corporea davvero notevole, facendo presupporre che questo solo sia il maschio e gli altri quattro siano femmine e/o cuccioli. Ciò depone pertanto a favore di un elevato dimorfismo sessuale della specie (*Australopithecus afarensis*, con ogni probabilità) e di una struttura sociale poliginica o ad «harem», come si dice, più simile a quella dei gorilla che non alle comunità promiscue degli scimpanzé o a quelle familiari allargate di noi umani. Altro che coppietta romantica!

AMBIENTE

Arginare la marea nera

Il destino delle perdite di petrolio è legato a complesse interazioni biologiche



Centosei giorni.

Lo sversamento di petrolio causato dall'incidente della piattaforma Deepwater Horizon di BP è durato dal 20 aprile al 4 agosto 2010, quando i tentativi di fermare la gigantesca perdita hanno avuto finalmente successo. Nella foto, scattata il 21 aprile 2010, navi di soccorso alle prese con l'incendio della piattaforma.

Dopo una fuga di petrolio in mare, i microrganismi e i composti che secernono sono essenziali nel determinare l'entità dell'inquinamento. Ma l'applicazione dei disperdenti (composti che favoriscono la riduzione in gocce e la dispersione del petrolio galleggiante) potrebbe compromettere l'azione dei microrganismi risultando quindi controproducente. Molto tuttavia resta da indagare, perché le interazioni fra petrolio, disperdenti e microrganismi vari sono complesse, e ancora poco esplorate. Lo spiegano su «Limnology & Oceanography Letters» Antonietta Quigg, biologa marina alla Texas A&M University di Galveston, e il suo gruppo ADDOMEx, che partecipa alla grande iniziativa di ricerca sul destino del petrolio immesso nell'ambiente nel 2010 nel Golfo del Messico con l'incidente della piattaforma Deepwater Horizon.

La chiave sta nelle cosiddette sostanze polimeriche extracellulari: una gamma di polimeri diversi per natura (soprattutto polisaccaridi e glicoproteine, ma anche DNA, lipidi e altre molecole) e per proprietà fisico-chimiche, liberati nell'ambiente da batteri, archea e fitoplancton con varie funzioni biologiche. «Queste sostanze agiscono da disperdenti naturali. Legandosi al petrolio e ad altri detriti, ne favoriscono emulsificazione, dispersione e degrado, ma anche l'aggregazione in neve marina: quei flocculi che, preci-

pitando sul fondo, sono uno strumento essenziale di autopulizia del mare», spiega Quigg.

Struttura e funzioni della comunità microbica sono a loro volta influenzate dal petrolio e dai disperdenti. La secrezione delle sostanze polimeriche, per esempio, aumenta in risposta a stress come l'inquinamento petrolifero, come si è visto con la massiccia produzione di neve marina dopo l'incidente del Golfo. Anche i disperdenti influiscono su produzione dei polimeri e aggregazione dei flocculi, e ci sono indizi di possibili effetti controproducenti.

«Molto sembra dipendere dai gruppi di organismi che consideriamo: gli effetti con ogni probabilità varieranno con la comunità microbica presente in un dato ambiente», osserva Quigg. «Le ricerche su queste interazioni non sono molte e sono state fatte per lo più solo in laboratorio. Dovremo studiare molto più a fondo che destini segue il petrolio anche in virtù di questi processi biologici: bisognerà definire meglio i polimeri extracellulari in gioco, capire come i microbi li producono in diverse condizioni ambientali, le interazioni tra i vari attori biologici e i fattori fisici e chimici. Solo così potremo rispondere con cognizione di causa alle prossime perdite».

Giovanni Sabato

ASTROFISICA

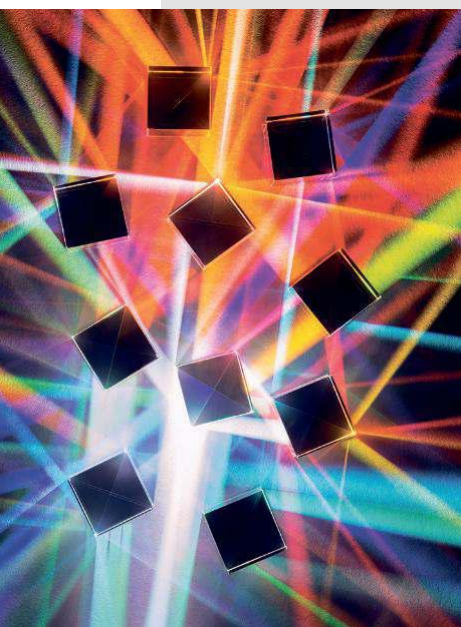
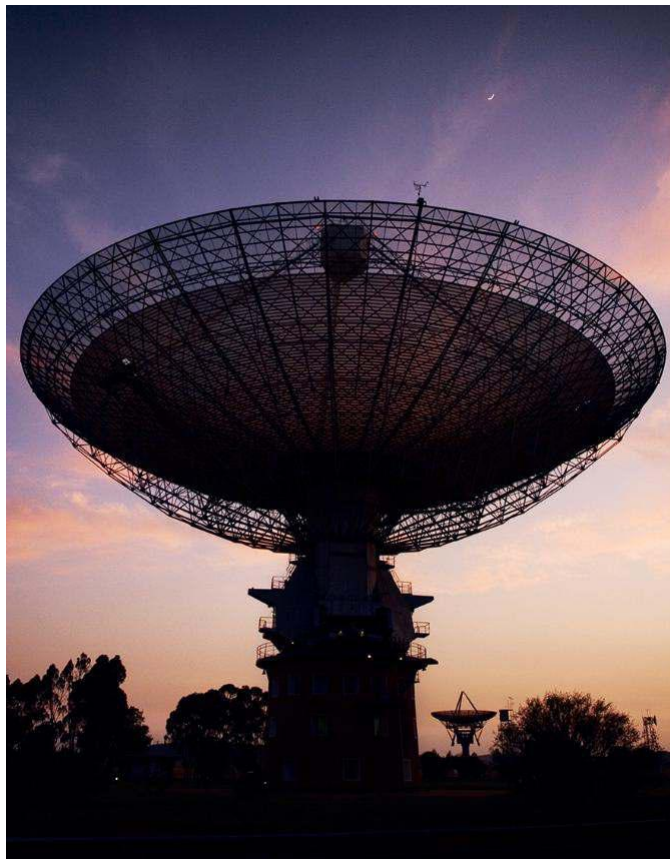
Un lampo radio per studiare l'universo

Questi fenomeni ancora misteriosi possono essere usati per indagini cosmologiche

Un viaggio iniziato un miliardo di anni fa in una lontana galassia. È la storia di FRB150807, il più brillante lampo radio osservato, catturato l'anno scorso dai radiotelescopi dell'osservatorio Parkes in Australia. I lampi radio veloci, o *fast radio bursts* (FRB), sono fenomeni astrofisici ancora misteriosi. Ma grazie alla sua eccezionale brillantezza, FRB150807 è stato usato per sondare lo spazio intergalattico, mostrando che è riempito da gas poco turbolento immerso in campi magnetici poco intensi. Lo studio, pubblicato su «Science» da Vikram Ravi del California Institute of Technology e colleghi, fornisce nuove informazioni sui FRB e mostra come possono essere usati per indagini cosmologiche.

La natura di questi rapidissimi lampi radio resta un mistero per gli astrofisici: questi fenomeni potrebbero essere il prodotto di violente esplosioni stellari, di fusioni fra buchi neri o stelle di neutroni, oppure nascere da processi fisici ancora ignoti. Scoperti nel 2007, i FRB noti sono solo 18, ma si stima che in tutto il cielo ve ne siano fra 2000 e 10000 al giorno, impossibili da osservare tutti per via del piccolo campo di vista dei radiotelescopi. La zona di cielo dove è apparso FRB150807 contiene solo galassie distanti, quindi gli autori deducono che il lampo arrivi da una galassia ad almeno un miliardo di anni luce da noi. Grazie alla sua brillantezza e alla sua distanza, FRB150807 si è dimostrato un utile strumento cosmologico. Il gas ionizzato presente nello spazio intergalattico influenza le proprietà delle onde radio, quindi studiando FRB150807 è stato possibile determinare le proprietà del gas fra noi e la galassia di origine. Analizzando il lampo, durato circa un terzo di millisecondo, gli autori hanno mostrato che lo spazio intergalattico è riempito da gas poco turbolento e con deboli campi magnetici, di circa 20 miliardesimi di gauss. Resta il mistero sui FRB, ma in attesa di capirne l'origine possiamo iniziare a usarli come fari nell'immenso oceano fra le galassie.

Massimiliano Razzano



Nuovo record per l'entanglement di fotoni

Fra le proprietà dei sistemi quantistici, l'*entanglement* è una delle più studiate, perché alla base delle sorprendenti capacità di elaborazione dei calcolatori del futuro: i computer quantistici. Ma per progettare computer quantistici che possano essere competitivi con gli attuali elaboratori, è necessario creare sistemi con un numero elevato di particelle entangled. Ed è in questa direzione che si muovono le ricerche del gruppo guidato da Xi-Lin Wang, della University of Science and Technology of China di Hefei, che ha portato a dieci il nuovo record di fotoni entangled. L'entanglement, noto anche con l'espressione correlazione quantistica, è un fenomeno squisitamente quantistico in cui lo stato di un sistema microscopico dipende strettamente dallo stato degli altri sistemi a cui è connesso (entangled), anche se si trovano a grande distanza fra loro. Questo significa che, per esempio, dato un sistema di due particelle entangled, qualunque misurazione su una delle due particelle altera simultaneamente anche lo stato dell'altra, a qualunque distanza si trovi dalla prima.

Per creare sistemi di fotoni entangled i fisici usano cristalli non lineari, in grado di convertire alcuni fotoni incidenti in fotoni correlati. In particolare, come descritto nell'articolo pubblicato su «Physical Review Letters», Wang e collaboratori hanno illuminato con un laser a bassa potenza un apparato ottico composto essenzialmente da coppie di cristalli di beta-borato di bario separati da lamine polarizzatrici. Grazie a questo schema ottico, hanno potuto produrre coppie di fotoni con identica polarizzazione ed emessi nella stessa direzione. Mettendo in cascata cinque di questi sistemi, i fisici sono così riusciti a raccogliere dieci fotoni entangled, aumentando l'efficienza di raccolta dal 40 per cento degli esperimenti precedenti fino al 70 per cento. Un risultato già utile per esperimenti su teletrasporto e crittografia quantistica.

Emiliano Ricci

Viviane Ponti/Getty Images (Parkes Observatory);
Mirage/Getty Images (entanglement)

EPIDEMIOLOGIA

Data di nascita e suscettibilità all'influenza

I ceppi a cui si è stati esposti durante l'infanzia condizionano se e come ci si ammalerà in futuro



Quando si diffonde un'epidemia di influenza, non tutti reagiscono allo stesso modo: alcune fasce di popolazione possono essere particolarmente colpite dall'infezione, mentre altre ne escono quasi indenni. Durante la pandemia di influenza aviaria che si è diffusa dal 1997, causata dal virus H5N1, si sono ammalati soprattutto bambini e adulti, mentre alcuni anni dopo il ceppo virale H7N9 ha colpito in particolare le persone più anziane.

La diversa suscettibilità ad ammalarsi, rivela una ricerca pubblicata su «Science» da Michael Worobey dell'Università dell'Arizona a Tucson e colleghi, sembra legata al ceppo influenzale da cui si è stati infettati nell'infanzia. La prima infezione da virus influenzale conferisce una forma di immunità anche verso altri sottotipi virali che appartengono allo stesso gruppo. Quando però si diffonde un virus di un altro gruppo, la protezione viene meno e le persone sono più esposte alla malattia. I virus responsabili dell'influenza possono essere divisi in due gruppi, in base a particolari molecole presenti sulla superficie che

attivano una precisa risposta immunitaria: un gruppo comprende i sottotipi H1, H2 e H5, e l'altro i sottotipi H3 e H7.

Gli autori dello studio hanno analizzato i casi di infezione nel corso di una serie di pandemie influenzali, dal 1918 al 2015. Analizzando i dati epidemiologici, gli scienziati hanno osservato che per circa 50 anni le epidemie influenzali sono state causate da virus del primo gruppo, mentre nel 1968 ha iniziato a diffondersi un virus del secondo gruppo. Le persone nate prima di quella data hanno quindi una forma di immunità verso il virus H5N1, del primo gruppo, mentre hanno più probabilità di ammalarsi a causa del ceppo H7N9. Viceversa, chi è nato dopo il 1968 ha un profilo di suscettibilità di tipo opposto. Questa forma di memoria immunologica non fornisce una protezione completa, ma riduce del 75 per cento il rischio di una grave infezione e dell'80 per cento il rischio di morte. I risultati potrebbero aiutare a valutare le conseguenze di pandemie influenzali sulla popolazione.

Valentina Daelli

Sigarette e mutazioni

Fumare un pacchetto di sigarette al giorno provoca in ogni cellula polmonare una media di 150 mutazioni all'anno. A stabilirlo è uno studio pubblicato su «Science» che ha analizzato più di 5000 casi di tumore di pazienti fumatori e non fumatori rivelando che il tabacco causa mutazioni genetiche sia in modo diretto, nelle cellule a contatto con il fumo, sia in modo indiretto, alterando almeno cinque differenti meccanismi di regolazione genica.

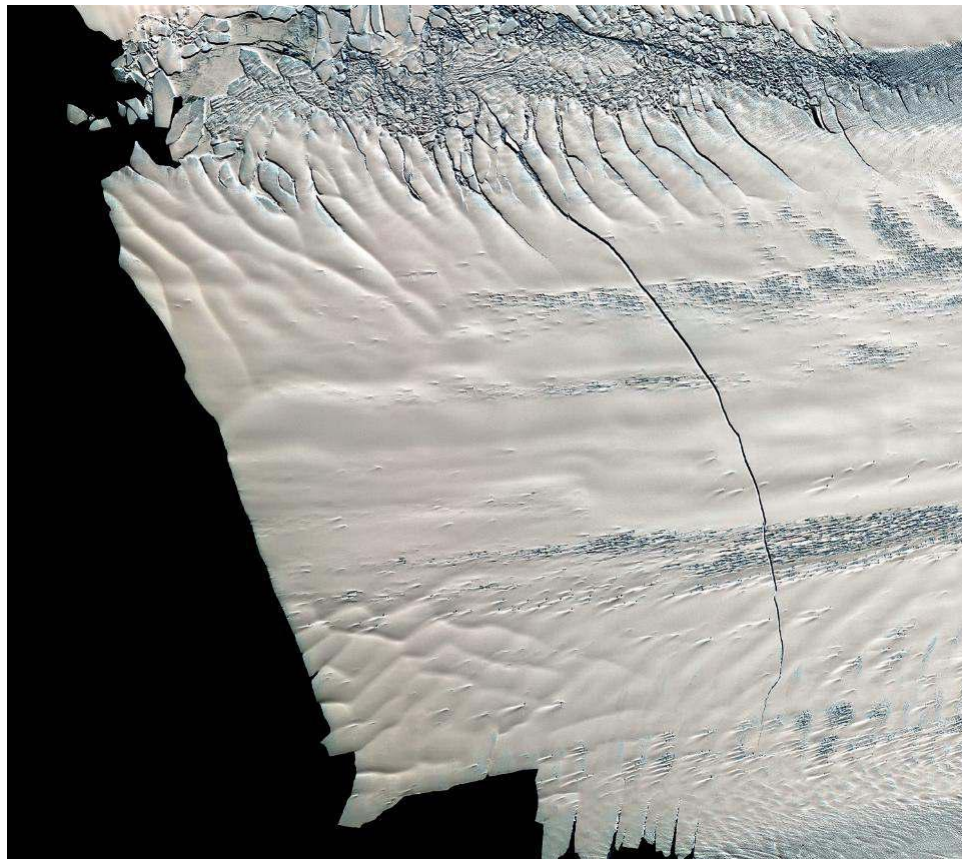
In particolare, in base ai dati raccolti da Ludmil Alexandrov e colleghi del Wellcome Trust Sanger Institute, sembra che il tabacco sia all'origine di ben 17 tipologie diverse di tumore che non riguardano solo i polmoni: con un pacchetto di sigarette al giorno, in media, le mutazioni che si sviluppano nell'arco di un anno in ogni cellula sono 97 nel caso della laringe, 39 della faringe, 23 della bocca, 18 della vescica e 6 del fegato. Ovviamente il numero esatto di mutazioni in ciascuna cellula varia da individuo a individuo, ma la correlazione è chiara e mostra una proporzionalità diretta tra numero di sigarette fumate e il rischio di sviluppare un tumore. A differenza degli studi precedenti che già evidenziavano la correlazione, questo è uno dei primi che riesce a quantificare con precisione i cambiamenti molecolari che avvengono nel DNA per effetto del tabacco.

Mattia Maccarone

CLIMA

Fusioni difficili da fermare

Solo raffreddamenti prolungati degli oceani potrebbero salvare i ghiacciai a contatto con i mari



Oggi è evidente la fusione dei ghiacci (che spesso è chiamata impropriamente «scioglimento») un po' in tutto il mondo: ovviamente al Polo Nord, ma anche sulle catene montuose, nonché in Groenlandia e nella penisola antartica occidentale (il resto dell'Antartide sembra molto più resistente e solido).

La dinamica di questi ghiacciai è molto complessa ma, almeno per quelli a contatto con il mare, riveste grande importanza la temperatura dell'oceano circostante, che negli ultimi decenni ha mostrato una netta tendenza all'aumento.

Ma se potessimo riabbassare questa temperatura, che cosa succederebbe? Possiamo provare a rispondere a questa domanda analizzando che cosa è successo a uno specifico ghiacciaio antartico negli ultimi anni, quando la parte di oceano che lo bagna ha mostrato un temporaneo raffreddamento. È quello che hanno fatto Knut Christianson, dell'Università di Washington a Seattle, e colleghi in uno studio sul ghiacciaio antartico di Pine Island pubblicato di recente su «Geophysical Research Letters».

Ebbene, nonostante negli anni 2012 e 2013 si sia misurata una diminuzione del contenuto di calore dell'oceano circostante di circa il 60 per cento, il tasso di fusione del ghiaccio si è ridotto solo del quattro per cento e il ghiacciaio ha continuato a «gettare» in mare tanta acqua. Si pensi che oggi il ghiacciaio di Pine Island è considerato quello che dà il maggior contributo all'aumento del livello del mare: circa il quattro per cento con un aumento annuo a esso dovuto di 0,11 millimetri.

In questa situazione si deve concludere che solo raffreddamenti più prolungati dell'oceano potrebbero influire in maniera sostanziale sulla dinamica dei ghiacciai e fermarne la fusione. Ma ricordiamo che l'unico modo anche solo per bloccare l'aumento di temperatura degli oceani è ridurre i nostri influssi negativi sul clima. Purtroppo però, il fatto che l'acqua abbia una grossa capacità termica, che si traduce in una grande resistenza ai cambiamenti di temperatura, rende gli effetti delle nostre azioni molto lenti.

Antonello Pasini

Emissioni stabili di anidride carbonica

Per il terzo anno di fila le emissioni di CO₂ segneranno il passo, dopo essere cresciute fra il 2003 e il 2013 a una media del 2,3 per cento all'anno. Lo sostiene la climatologa Corinne Le Quéré, dell'Università dell'East Anglia, con il contributo del Global Carbon Project, che raccoglie i dati sulle emissioni. Estrapolando i dati per il 2016 fino alla fine dell'anno, Le Quéré ha concluso, su «Earth System Science Data», che l'aumento delle emissioni sarà dello 0,2 per cento, contro lo zero del 2015 e un aumento dello 0,7 per cento nel 2014, nonostante una crescita totale del nove per cento dell'economia mondiale tra il 2014 e il 2016. «Tre anni di fila di quasi stasi nelle emissioni, in un periodo di buona crescita economica, non si erano mai visti», sottolinea la ricercatrice. Nel 2016 Cina e Stati Uniti dovrebbero aver emesso meno, soprattutto per il progressivo abbandono del carbone. Le emissioni europee dovrebbero essere leggermente aumentate per l'uscita dalla crisi economica, mentre non mostra segni di rallentamento la crescita del cinque per cento all'anno delle emissioni indiane. «Fermare le emissioni però non è abbastanza per mantenere l'aumento delle temperature globali sotto i 2°C rispetto al 1850. È necessario che le emissioni comincino presto a diminuire», conclude Le Quéré.

Alex Saragosa

Cortesia NASA/GSFC/MEI/ERSDAC/AROS, e U.S./Japan ASTER Science Team (ghiacciaio Pine Island), DEA/A. Dagli Orti/De Agostini/Getty Images (ricostruzione volo Neanderthal, a fronte in alto); cortesia Alan Herzog/EPFL (sistema wireless, a fronte in basso)

GENETICA

Il Neanderthal che è in noi

Due studi illustrano l'azione della selezione naturale sul DNA neanderthaliano nel nostro genoma

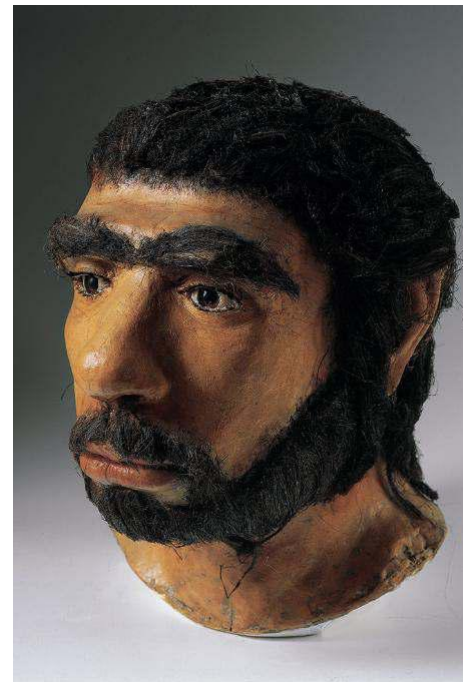
Decine di migliaia di anni fa, poco dopo l'uscita dall'Africa, l'uomo moderno entrò in contatto e si ibridò con due specie affini: l'uomo di Neanderthal e quello di Denisova. Tracce di quegli incroci sono ancora evidenti nel nostro patrimonio genetico, poiché il genoma delle popolazioni umane non africane contiene una piccola parte, stimata in 2-5 per cento in base all'area geografica, del DNA di queste specie estinte.

Dal sequenziamento di 150 genomi provenienti da popolazioni diverse, uno studio su «Current Biology» diretto da Joshua M. Akey dell'Università di Washington ha mostrato che le varianti genetiche arcaiche che si sono mantenute fino a oggi sono state utili all'uomo moderno per adattarsi meglio alle condizioni ambientali fuori dall'Africa. Sebbene le sequenze di derivazione neanderthaliana e denisovana costituiscano in media una bassa porzione del genoma umano, in oltre 120 loci la frequenza di queste sequenze può raggiungere anche il 65 per cento. È quindi probabile che questi alleli, originatisi nell'ambiente in cui questi ominidi erano

ben adattati, siano stati, e forse lo sono ancora, vantaggiosi anche per la nostra specie. Non è un caso che molti di questi geni siano legati al funzionamento del sistema immunitario.

La restante parte del DNA acquisito in seguito agli eventi di ibridazione è andata perduta nel tempo. Secondo uno studio diretto da Ivan Juric dell'Università della California a Davis e pubblicato su «PLoS Genetics», le varianti geniche di origine neanderthaliana, comprese quelle con mutazioni neutrali, sono state eliminate dal genoma quando non costituivano un vantaggio per la nostra specie. Gli alleli non fondamentali si sarebbero diluiti nella popolazione umana, molto superiore a quella piccola dei Neanderthal che avrebbe invece mantenuto la gran parte delle varianti deleterie, da essere di fatto oggi scomparsi. La selezione naturale avrebbe quindi da un lato promosso il consolidamento degli alleli esogeni nelle popolazioni in cui era necessario, dall'altro, sfavorito il mantenimento di quelli anche minimamente svantaggiosi.

Andrea Romano



Ricominciare a camminare con il wireless

Le persone che soffrono di una paralisi alle gambe dovuta a un danno del midollo spinale non hanno speranze di tornare a camminare in modo autonomo. O, meglio, non ne avevano. Ora, però, uno studio effettuato dal Centro di neuroprostetica e dal Brain Mind Institute dell'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), apre nuove prospettive anche per queste persone. Un gruppo guidato dal neuroscienziato Grégoire Courtine è riuscito a restituire l'uso della gamba posteriore destra a due esemplari di macaco Rhesus (*Macaca mulatta*) con un danno del midollo spinale. Lo studio è stato pubblicato da «Nature». Il primo autore, Marco Capogrosso, anche lui all'EPFL, ci ha spiegato come si è giunti al risultato: «L'idea di base consiste nel considerare il sistema nervoso come un circuito elettrico: quando un'interruzione impedisce la trasmissione dello stimolo nervoso basta creare un bypass per ripristinarla».

Un concetto molto semplice, ma difficile da realizzare: per camminare bisogna coordinare, con estrema precisione, una quarantina di muscoli che muovono le articolazioni coinvolte, anca, ginocchio, caviglia. «Il midollo spinale — dice ancora Capogrosso — è un insieme di reti che servono per attivare e coordinare questi muscoli e che restano capaci di produrre il movimento anche al di sotto della lesione spinale. Abbiamo quindi messo a punto un metodo per riportarle alla loro funzione». Il sistema consiste in un microlettrodo applicato sulla corteccia motoria del cervello e in un sistema di stimolazione inserito nella colonna vertebrale, in zona epidurale, al di sotto della lesione midollare. Il segnale raccolto sulla corteccia motoria è inviato, con una connessione *wireless*, a un sistema di controllo esterno che lo decodifica e lo rispedisce allo stimolatore,



modulandolo con la massima precisione per controllare i movimenti di flessione ed estensione della zampa. Appena sei giorni dopo l'impianto i macachi hanno ripreso gradualmente a camminare, pur con una lieve zoppia, caricando il peso del corpo sull'arto malato. Il prossimo obiettivo è iniziare trial su esseri umani. «In una decina di anni potremmo arrivare a una soluzione commerciale — dice Capogrosso — il grande ostacolo sarà però trovare i finanziamenti necessari».

Riccardo Oldani

Quando il cane cambiò la dieta



Con la nascita dell'agricoltura, circa 10.000 anni fa, a cambiare non furono solo le abitudini alimentari degli esseri umani, ma anche quelle dei cani. Già domesticati da qualche migliaio di anni, i cani si convertirono a una dieta ricca di cereali grazie a un adattamento genetico che permise di digerire l'amido. Lo affermano su «Royal Society Open Science» Morgane Ollivier della Ecole Normale Supérieure de Lyon e colleghi. Oggi, nel genoma dei cani ci sono tra 4 e 34 copie di *Amy2B*, gene per la digestione dell'amido, mentre la maggior parte di lupi e dingo ne ha solo due. Per capire se l'amplificazione di *Amy2B* fosse un adattamento emerso nei cani in risposta alla vita agricola o un prodotto più recente della selezione umana, i ricercatori hanno esaminato il DNA di denti e ossa di 13 cani vissuti in Europa e Asia sud-occidentale tra 15.000 e 4000 anni fa. Le analisi hanno mostrato che, già 7000 anni fa, i cani che vivevano in aree agricole avevano più di otto copie di *Amy2B*. È la prova che la selezione naturale favorì l'amplificazione del gene nel DNA canino perché questo carattere permetteva di sfruttare la nuova risorsa energetica rappresentata dai cereali. Così, il sodalizio tra uomini e cani è proseguito sino ai nostri giorni. (MaSa)

Tracce di vita sulla Terra dei primordi

Tre miliardi e 200 milioni di anni fa la Terra era molto diversa da come la conosciamo, ma già ospitava la vita, non solo negli oceani ma anche sulla terraferma. È lo scenario che emerge da un recente studio che descrive una delle più antiche formazioni rocciose a noi note, scoperta nella località di Barberton in Sudafrica, che mostra chiare tracce di un paleosuolo fossile modellato dalle attività metaboliche di antichi organismi. Lo studio, effettuato dal gruppo di Sami Nabhan della Freie Universität Berlin e pubblicato su «Geology», indica che la colonizzazione delle terre emerse sarebbe avvenuta almeno 300 milioni di anni prima di quanto si ritenesse in precedenza.

Gli strati più antichi delle formazioni di Barberton sono datati a 3,5 miliardi di anni fa, ma è a partire da quelli risalenti a 3,2 miliardi di anni fa che si osservano granuli di pirite, la cui genesi appare legata all'attività di microrganismi unicellulari. Composizione isotopica della roccia, forma dei cristalli di pirite e disposizione degli strati testimoniano un paleosuolo formatosi in una pianura attraversata da fiumi che trasportavano i sedimenti al mare. Questo pionieristico ecosistema del mondo emerso era soggetto a variazioni stagionali di umidità, registrate dai segni di accrescimento sui bordi dei granuli. (FaPe)

I colori degli uccelli



Gli uccelli sono il gruppo di vertebrati più colorato. Ora un'analisi dei piumaggi di 137 specie in due famiglie di uccelli, pubblicata da Nicholas Friedman dell'Okinawa Institute of Science and Technology su «Global Ecology and Biogeography», suggerisce che il clima sia il principale determinante della colorazione.

Gli scienziati hanno ritenuto spesso che più ci si avvicina ai tropici più i colori sono vivaci, ma in realtà le regioni pluviali sono abitate prevalentemente da uccelli scuri, mentre gli uccelli degli habitat aridi sfoggiano più spesso piumaggi chiari e variegati. Questa correlazione potrebbe dipendere dal mimetismo, che avvantaggia colori scuri nelle ombrose foreste pluviali e colori chiari in ambienti luminosi come i deserti, e dalla competizione per l'accoppiamento, che negli ambienti più aridi sono concentrati nella breve stagione delle piogge. La necessità di attrarre un partner rende la competizione intensa, spingendo l'evoluzione di piumaggi vivaci. (MaSan)

Cervelli che non si emozionano con la musica

Fin dai tempi remoti gli esseri umani hanno trovato piacere nella musica, ma ci sono individui ai quali la musica non suscita alcuna emozione. Il disturbo è chiamato anedonia musicale e secondo uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» ha origine in anomalie nella connessione fra le aree uditive del cervello e quelle legate alle emozioni. La scoperta, oltre a spiegare l'origine del disturbo, fa luce anche sui processi cognitivi che normalmente rendono la musica un elemento così importante per la psiche umana. Secondo Noelia Martínez-Molina dell'Università di Barcellona e colleghi, i soggetti colpiti da anedonia musicale hanno facoltà uditive normali e non mostrano anomalie nel provare piacere in risposta ad altri stimoli, a riprova che i circuiti deputati all'elaborazione del piacere e delle ricompense sono preservati. Ma al contrario della maggioranza della popolazione, in questi individui l'attività del nucleo accumbens è assai ridotta solo per gli stimoli musicali. Il nucleo accumbens è un centro cerebrale importante nel network del piacere. Per gli autori, quello che manca è la connessione fra le aree uditive e questo nucleo, la stessa connessione che garantisce negli altri individui il piacere della musica e che probabilmente è stata selezionata dall'evoluzione. (FeSg)



Amy Rene/Shutterstock (cani); moonblack/Shutterstock (uccelli); Pandy Paris/Getty Images (donna con le cuffie)

Il tempo per una sogliola



Le 700 specie di pesci piatti come sogliole e platesse sono un esempio eccezionale di adattamento evolutivo. Durante lo sviluppo, uno degli occhi migra da un lato all'altro del corpo, permettendo di vivere adagiati sul fondale. Una soluzione anatomica di successo. Finora tuttavia non era chiaro se si fosse evoluta più volte in modo indipendente.

Un gruppo guidato da Richard C. Harrington dell'Università di Oxford ha pubblicato su «BMC Evolutionary Biology» un albero filogenetico in cui si conclude che tutti i pesci piatti discendono da un progenitore comune. Il confronto in 45 specie di oltre 1000 elementi di DNA ultraconservati, integrata dai reperti fossili, suggerisce inoltre una evoluzione rapidissima, soprattutto per un cambiamento morfologico così radicale, che avrebbe richiesto meno di tre milioni di anni. Per confronto, lo sviluppo dell'anatomia umana moderna ha richiesto circa sette milioni di anni. (MaSan)

Materia luminosa e rotazione galattica

La materia oscura fu ipotizzata per spiegare l'aspetto delle curve di rotazione delle galassie a spirale. Da quel momento, questa materia non visibile, ma di cui le stelle sentono la presenza gravitazionale, è diventata fondamentale per i cosmologi, tanto da essere invocata nell'ambito della teoria del big bang per rendere conto del 27 per cento della materia-energia dell'universo.

Adesso una ricerca su 153 galassie a disco, la cui composizione si pensa sia dominata dalla materia oscura, rivela una relazione stretta fra la dinamica di rotazione e la materia luminosa. In particolare, lo studio, pubblicato su «Physical Review Letters» da un gruppo guidato da Stacy McGaugh, della Case Western Reserve University di Cleveland, mostra una relazione fra accelerazione centripeta (a ogni raggio) delle galassie e distribuzione della materia luminosa. Questa relazione è così netta da far ipotizzare l'esistenza di una legge universale a determinarla. La scoperta rivela che, nelle galassie, le distribuzioni di materia ordinaria e di materia oscura sono molto più connesse di quanto si pensasse. Curioso, tuttavia, che questa relazione sia stata per la prima volta prevista dalla teoria MOND (Modified Newtonian Dynamics), una teoria della gravitazione modificata proposta proprio come alternativa alla materia oscura. (EmRi)

Meno ghiaccio, Alpi più alte

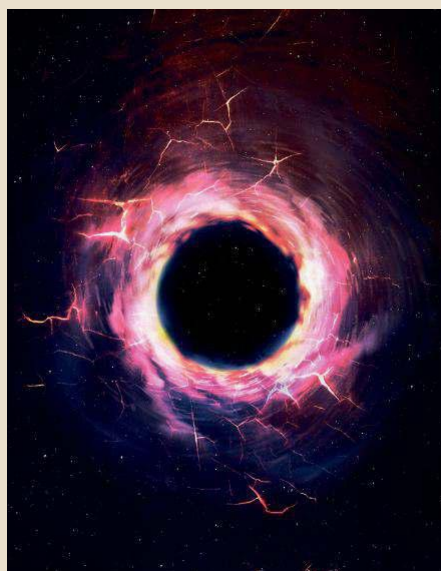
Le Alpi sono nate grazie alla spinta che la placca di crosta terrestre africana esercita contro quella euroasiatica. Ma questo meccanismo non spiega perché le Alpi, in particolare quelle orientali, crescano di circa 2 millimetri all'anno, nonostante l'erosione di fianchi e vette compensi quasi esattamente la spinta tettonica. In passato si è ipotizzato che le Alpi, via via alleggerite dall'erosione, fossero spinte in alto anche dal mantello fluido sottostante, più libero di espandersi. Ma ora una ricerca dei geologi Dirk



Scherler e Taylor Schildgen, del GeoForschungsZentrum di Potsdam, ha trovato un responsabile diverso. Come riportato su «Nature Communications», i due hanno calcolato che fra il picco dell'ultima era glaciale, 18.000 anni fa, e oggi, le Alpi hanno perso 62.000 miliardi di tonnellate di ghiaccio, mentre nello stesso periodo la perdita di rocce e terreno per erosione è stata di appena 4000 miliardi di tonnellate. A provocare l'attuale crescita delle Alpi, quindi, è stato soprattutto il cambiamento climatico post glaciazione, ma non c'è da aspettarsi che l'aumento delle temperature globali faccia accelerare la crescita: l'80 per cento della perdita di ghiaccio è avvenuta nei primi 3000 anni di disgelo. (FeSg)

Un buco nero... seminudo

Tutte le osservazioni, incluse le più recenti effettuate dal gruppo guidato da James Condon, dello statunitense National Radio Astronomy Observatory, confermano che i buchi neri supermassicci si trovano al centro dei nuclei galattici. Le osservazioni di Condon e colleghi erano mirate a individuare coppie di buchi neri supermassicci decentrati rispetto al nucleo galattico in conseguenza della fusione di due galassie. Ma durante le osservazioni, effettuate con i radiotelescopi del Very Long Baseline Array (VLBA), hanno scoperto un buco nero circondato da una galassia debole e ridotta rispetto a quello che in genere si osserva attorno a buchi neri di quella taglia. L'ipotesi, descritta su «The Astrophysical Journal», è che quest'oggetto, attualmente in fuga dalla galassia più brillante dell'ammasso di galassie alla velocità di oltre 2000 chilometri al secondo, si trovasse al centro di una galassia satellite entrata in collisione con la galassia principale. La quale ha strappato gran parte delle stelle dal sistema satellite, lasciando il buco nero seminudo. Secondo i ricercatori, entro un miliardo di anni questo buco nero sarà privo di materia residua



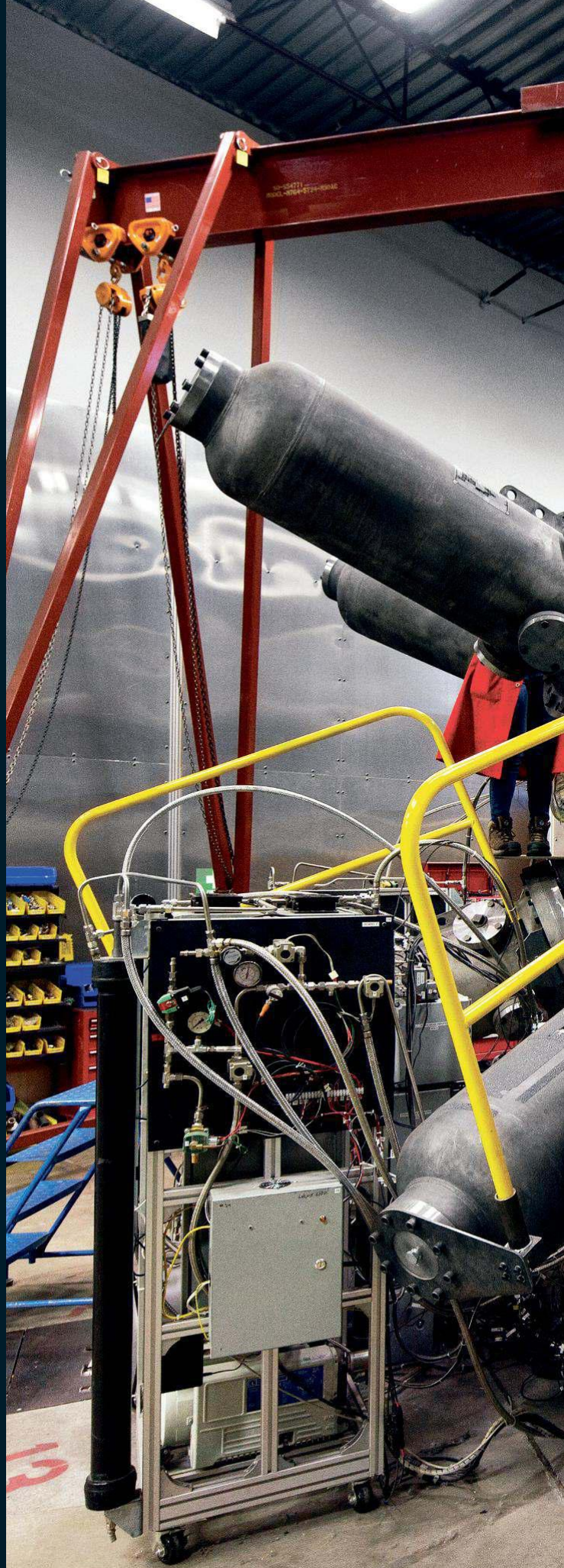
attorno, diventando così invisibile. Una scoperta che svela la possibile esistenza di una ricca popolazione di buchi neri nascosti alla nostra vista perché ormai nudi a causa di scontri galattici. (EmRi)

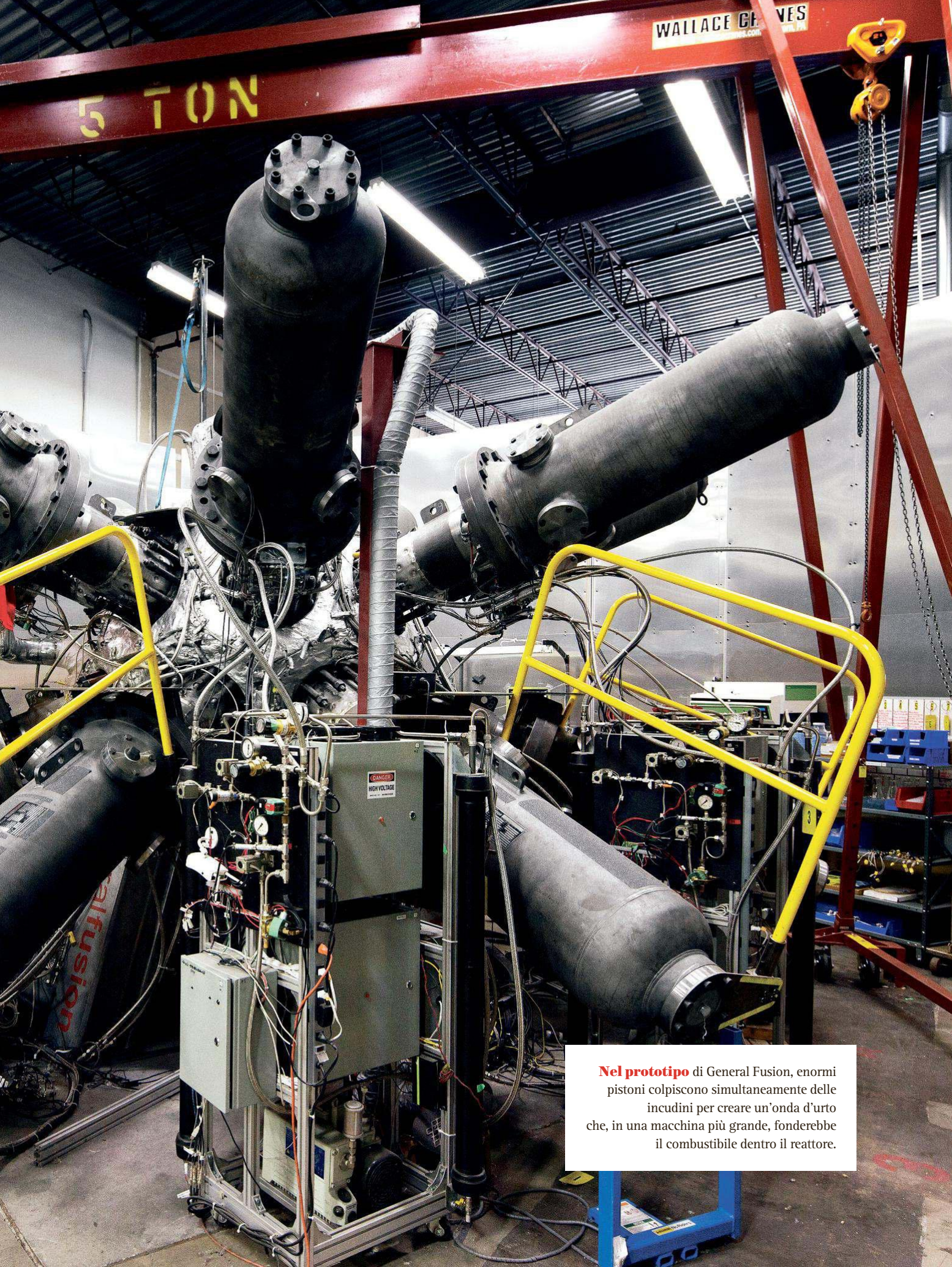
LE NUOVE FRONTIERE DELLA FUSIONE

ENERGIA

Alcuni fisici coraggiosi, in qualche caso finanziati da miliardi, stanno esplorando strade più rapide ed economiche verso la fonte perfetta di energia pulita

di W. Wayt Gibbs





Nel prototipo di General Fusion, enormi pistoni colpiscono simultaneamente delle incudini per creare un'onda d'urto che, in una macchina più grande, fonderebbe il combustibile dentro il reattore.

S

eduto nella sala di controllo del reattore sperimentale a fusione di Tri Alpha Energy, davanti allo schermo con le scritte «cannoni al plasma» e «controllo dello sparo», mi sento leggermente ansioso mentre ci prepariamo a fare fuoco. Questo reattore è un prototipo iniziale di una centrale elettrica che genererebbe energia con una versione controllata del processo che avviene nelle stelle e nelle bombe H.

Nel video in alto vedo gli addetti sul pavimento di questo anonimo magazzino vicino a Irvine, in California, che dal grande reattore si dirigono verso le porte. La camera a vuoto al centro del reattore, lucida, cilindrica e lunga circa come due scuolabus uno dietro l'altro, è circondata da due dozzine di elettromagneti ad anello, ciascuno più alto di me e largo come una mia gamba. Al mio comando, dentro quella camera la temperatura aumenterà fino a 10 milioni di gradi, anche se solo per un istante.

«Spinga quel tasto», mi dice l'operatore. Eseguo.

In un palazzo adiacente, quattro batterie a volano, caricate questa mattina con l'energia della rete locale, rilasciano un picco di elettricità da 20 megawatt. La corrente energizza i magneti ad anello e carica file di grossi condensatori, preparandoli all'enorme scarica imminente. In due minuti, tutti gli indicatori sul mio schermo sono passati da «In preparazione» ad «Armato».

L'operatore si avvicina a un microfono. «Pronti all'innescò», dice all'altoparlante. Le spie cominciano a lampeggiare. Porto il cursore sul tasto con la scritta «Innesco». Quindi spingo.

In un microsecondo i condensatori rilasciano l'elettricità accumulata. Alle estremità opposte del cilindro a vuoto si creano nuvole di ioni idrogeno e sono inviate a quasi un milione di chilometri all'ora verso il centro, dove collidono formando un plasma caldo e rotante che somiglia a un enorme sigaro vuoto.

Suona spettacolare, ma nella sala di controllo non ci sono lampi né boati: solo un debole «ping», come se nella camera del reattore fosse caduta una chiave sul pavimento di cemento. In un attimo l'ammasso di plasma si è dissolto e i computer hanno cominciato a elaborare il gigabyte di dati in arrivo da decine di sensori nel reattore. Le spie si spengono, gli addetti tornano al lavoro.

Un altro tentativo di fusione. Quando se ne fanno anche 100 al giorno, come per Tri Alpha, uno in più non è niente di speciale.

Dopo 50.000 piccoli «ping» in soli due anni, al momento della mia visita, nel febbraio 2016, la macchina di prova C-2U aveva dato a Tri Alpha i dati per andare avanti. Ad aprile il fisico Michl Binderbauer, *chief technology officer* dell'azienda, ha detto agli ingegneri di smontarlo e cannibalizzarne i pezzi per costruire un reattore più avanzato, C2-W, che dovrebbe essere finito a metà 2017.

W. Wayt Gibbs lavora a Seattle come scrittore scientifico freelance ed editor. È *contributing editor* per «Scientific American» e direttore editoriale di Intellectual Ventures, società di ricerca e investimenti che ha uno *spin-off* attivo nel campo della fissione (non della fusione) nucleare.



Il metodo Tri Alpha – costruire un prototipo rapidamente, testarlo a sufficienza e poi sostituirlo con uno migliore – rappresenta una differenza notevole rispetto alla norma nella ricerca sulla fusione. Da decenni gli scienziati progettano macchine gigantesche che puntano a fare luce sui comportamenti misteriosi dei plasmi roventi e pressurizzati che dovrebbero generare reazioni di fusione, ma spesso non lo fanno. Binderbauer, figlio di un imprenditore viennese, è l'esempio di un nuovo approccio alla fusione, spinto dagli investitori, con una mentalità ingegneristica che non perde di vista l'obiettivo di costruire una centrale elettrica di utilità pratica, non un monumento alla fisica delle alte energie.

Analogamente altre *start-up*, come General Fusion, vicino a Vancouver, scommettono sulla costruzione di una macchina commerciale senza dover sviscerare ogni dettaglio di questa scienza complessa. Queste centrali a fusione sarebbero alimentate da combustibili derivati dall'acqua degli oceani o da minerali comuni, quasi inesauribili e privi di carbonio. Le centrali quindi non produrrebbero quasi gas serra. Inoltre porrebbero un rischio di fatto nullo di radiazioni o di impiego a scopi bellici, e genererebbero elettricità sufficiente per le città: tutto il giorno, tutti i giorni. I nuovi pionieri non devono fare altro che risolvere alcuni dei più difficili problemi di fisica e ingegneria affrontati dall'umanità.

Al momento i pragmatici hanno l'attenzione delle persone perché gli accademici sono finiti in vicoli ciechi: enormi reattori che hanno chiarito qualche aspetto della fusione ma, almeno fino a metà del secolo, non saranno in grado di fornire elettricità alla rete. Un esempio perfetto è la National Ignition Facility (NIF) del Lawrence Livermore National Laboratory, una macchina da 4 miliardi di dollari che colpisce minuscoli contenitori di combustibile con impulsi laser da migliaia di miliardi di watt. «La NIF spara solo qualche centinaio di colpi l'anno», racconta Binderbauer. Una centrale elettrica dovrebbe spararne decine di migliaia al giorno. Il sistema si è dimostrato utile per la ricerca bellica (il suo scopo principale), ma la produzione energetica dovrebbe aumentare di quasi 30.000 volte solo per compensare il consumo necessario al funzionamento dei laser, e molte volte di più per avere un'utilità commerciale. Due anni fa Livermore ha abbandonato il progetto di un prototipo di centrale elettrica.

Il secondo esempio scoraggiante è ITER, una macchina alta come un palazzo di dieci piani, che un consorzio di paesi sta realizzando in Francia. Si baserà su giganteschi magneti superconduttori per gestire la combustione di un plasma a circa 150 milioni di gradi per alcuni minuti alla volta. Anche in caso di successo, ITER non produrrà elettricità.

IN BREVE

I grandi progetti per la fusione, come ITER in Francia e NIF negli Stati Uniti, hanno consumato miliardi di dollari e sono ancora molto lontani dal generare energia sufficiente a sostenere il proprio funzionamento,

per non parlare della produzione commerciale di energia. **Adesso si lavora a progetti** più semplici, in alcuni casi da parte di società private. I risultati preliminari fanno sperare in strade più pratiche

e meno costose verso le centrali a fusione nucleare. **I nuovi arrivati** devono superare però ostacoli scientifici proibitivi: per esempio evitare che nei plasmi surriscaldati la turbolenza ponga fine

subito alle reazioni di fusione. Anche il passaggio da brevi esperimenti a un funzionamento costante e affidabile necessario per le centrali elettriche pone difficoltà ingegneristiche straordinarie.



Michel Laberge, fondatore e chief scientist di General Fusion, presenta uno strumento diagnostico che può aiutare a testare proprietà fisiche non dimostrate. Commenta: «Ci sono molte possibilità di avere una brutta sorpresa... O una bella».

I politici che hanno lanciato ITER nel 2006 prevedevano un costo di 11 miliardi di dollari e la conclusione dei lavori entro il 2016. A maggio 2016 la spesa si era ormai gonfiata fino a 20 miliardi di dollari, con gli Stati Uniti in debito per circa 5 miliardi. Nella migliore delle ipotesi non sarà operativo prima del 2035. Frustrati, i senatori statunitensi hanno votato 90 a 8 per interrompere i finanziamenti. Ma dopo una successiva mozione, seppure prudente, da parte del Department of Energy, al momento della stesura di questo articolo il Congresso degli Stati Uniti era propenso a restare in gioco, almeno fino all'anno prossimo.

Messi in guardia dal progresso lentissimo dei giganti, Binderbauer e gli altri anticonformisti puntano su macchine più piccole, che affrontino il problema da nuove prospettive. Per ottenere risultati devono comprimere una minima quantità di combustibile con densità, temperatura e tempo di confinamento sufficienti a fare sì che gli atomi si fondano insieme, convertendo parte della propria massa minuscola in enormi quantità di energia. NIF e ITER si trovano alle estremità opposte in uno spettro di progetti possibili, che comprende una gamma molto ampia di densità del plasma e tempi di confinamento dell'energia (cioè il tempo per cui il calore resta nel plasma). Molti dei nuovi arrivati cercano punti più comodi nella zona intermedia, meno esplorata.

Un altro aspetto importante è che le start-up sono progettate per arrivare al successo o fallire in tempi relativamente brevi. I loro reattori sono «potenzialmente 100 volte meno costosi di ITER, più facili e rapidi da costruire e si prestano a progressi più veloci nella ricerca», spiega Scott Hsu, esperto di fusione al Los Alamos National Laboratory che collabora con la start-up HyperV Technologies. (In questo progetto, centinaia di cannoni sparano plasmi di idrogeno e argon al centro di un reattore sferico, dove implodono e comprimono il combustibile.) In questi progetti, eventuali difetti che blocchino tutto si manifesteranno con ogni probabilità prima che si rischi di perdere miliardi di dollari e decenni di tempo.

Per gli investitori è una buona notizia. I 100 milioni di dollari di cui dispone General Fusion provengono in parte dal fondatore di Amazon.com Jeff Bezos, dal governo canadese e dal fondo sovrano della Malaysia. Tri Alpha dichiara di avere raccolto centinaia di milioni di dollari da investitori tra cui Goldman Sachs e Paul Allen, cofondatore della Microsoft. Un altro gruppo che si muove rapidamente è quello dei Sandia National Laboratories, parzialmente sostenuti dall'Advanced Research Projects Agency-

Energy (ARPA-E) del Department of Defense, che finanzia le imprese audaci come potrebbe fare chi investe in capitale di rischio.

I sostenitori stanno facendo scommesse rischiose, ma potenzialmente assai redditizie. In effetti, la ricerca sulla fusione è piena di casi in cui «la natura dice: "bella idea, ma non funziona così"», scherza Stephen A. Slutz, capo dei teorici nel progetto Sandia.

Schiacciare il fuoco

La sfida di stabilizzare un plasma impetuoso deriva proprio dalla natura intrinseca della fusione stessa. Due nuclei atomici privati degli elettroni possono fondersi solo quando si avvicinano abbastanza e per un tempo sufficiente affinché l'attrazione della forza nucleare forte tra loro sia superiore alla repulsione elettrostatica tra i protoni. Quando accade, gli ioni si uniscono e formano un unico nucleo di un elemento più pesante, che ha una massa minore rispetto agli ingredienti originari. La materia mancante si trasforma in abbondante energia, sotto forma di fotoni e particelle subatomiche ad alta velocità. I reattori a fissione estraggono energia da atomi, come l'uranio, che invece di unirsi si scindono.

Per raggiungere alti tassi di fusione, gli ioni in un plasma devono muoversi l'uno verso l'altro velocemente, ma non troppo. In genere questo significa una temperatura del plasma superiore a 100 milioni di gradi. Un reattore deve schiacciare il plasma surriscaldato in uno spazio relativamente piccolo dentro una camera a vuoto e mantenerci i nuclei finché avvengono le reazioni. Come regola approssimativa, il prodotto tra densità del plasma e tempo di confinamento dell'energia deve essere maggiore di circa 10^{14} secondi per centimetro cubo. La combinazione possibile tra densità, tempo e temperatura è molto varia.

ITER, un progetto di reattore *tokamak*, userà un sottile plasma di circa mezzo grammo di deuterio e trizio, due isotopi dell'idrogeno ricchi di neutroni, immerso in una camera a vuoto dalle dimensioni di una piccola casa. ITER punta a una bassa densità del plasma, con un confinamento dell'energia lungo alcuni secondi.

Nella NIF, invece, laser con potenza fino a 500.000 miliardi di watt sono puntati da 192 direzioni su un piccolissimo contenitore che racchiude un granello congelato di deuterio e trizio solidi. Gli strumenti ottici ed elettronici che generano e dirigono gli impulsi laser riempiono un palazzo alto 30 metri e grande come tre campi da calcio. Per raggiungere l'ignizione, stato in cui il combustibile in fusione libera energia a sufficienza per sostenere le reazioni di fusione in corso senza aiuti esterni, la NIF punta a una densità del plasma incredibilmente alta, di cui ha bisogno perché l'energia è confinata solo dall'inerzia e solo per una frazione di nanosecondo.

Per Patrick McGrath, direttore del programma dell'ARPA-E, una grande occasione potrebbe essere offerta dalla situazione, poco esplorata, tra questi due estremi: una densità del plasma moderata e tempi di confinamento dell'energia a loro volta moderati. Ma nessuna macchina è riuscita a dominare turbolenza e instabilità, due insidie che inevitabilmente si nascondono in questi plasmi. Tenere sotto controllo un plasma caldo mentre all'interno si scatena la fusione è come cercare di schiacciare la fiamma di una candela senza toccarla; anzi, è più difficile perché gli ioni in un