

# MIT Technology Review ITALIA Anno XXVI - 5/2014

## LA COMETA DI ROSETTA

Una cronaca a puntate della missione spaziale europea



**Scritti a mano,  
ma in formato digitale**

La Biblioteca Apostolica Vaticana  
digitalizza i propri preziosi manoscritti

**Se non ora, quando?**

L'automobile automatica di Google

**L'Internet delle cose**

Sensori e attività commerciali

**SPECIALE BIO**

**Mente e/o  
cervello?**

Una grande inchiesta  
sulle neuro-scienze

**PLUS** TR Mondo: Germania, Cina e le imprese spaziali ■ FINMECCANICA Innovazione  
■ IIT Innovazione ■ FS Innovazione ■ Meta System e BMW ■ L'ontologia dei sistemi  
informativi ■ Ray Kurzweil e l'intelligenza di rete ■ Il Rapporto del Pew Research Center  
sulla vita digitale ■ Federico Casalegno, Andrea Granelli e il controllo dei sistemi intelligenti ■

RIVISTA BIMESTRALE - 6 EURO  
TARIFFA ROC: POSTE ITALIANE SpA  
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE -  
DECRETO LEGGE N. 353/2003 (CONVERTITO  
IN LEGGE 27/02/2004 N.46) ARTICOLO 1,  
COMMA 1, DCB ROMA

*Nasce il francobollo  
più buono che ci sia!*



**filatelia**

[www.poste.it](http://www.poste.it)

Numero gratuito 803 160

CON IL NUOVO FRANCOBOLLO DELLA SERIE TEMATICA  
"LE ECCELLENZE DEL SISTEMA PRODUTTIVO ITALIANO",  
CELEBRIAMO IL 50° ANNIVERSARIO DI NUTELLA.

LO TROVI NEGLI UFFICI POSTALI ABILITATI E NEGLI SPAZI FILATELIA.



**Posteitaliane**

# MIT Technology Review

ITALIA

Anno XXVI - 5/2014

## DIRETTORE

Alessandro Ovi

## DIRETTORE RESPONSABILE

Gian Piero Jacobelli

## COMITATO EDITORIALE E SCIENTIFICO

Alberto Abruzzese

Vittorino Andreoli

Carlo Bozotti

Fulvio Conti

Andrea Granelli

Patrizia Grieco

Mauro Moretti

Pasquale Pistorio

Jason Pontin

Romano Prodi *Presidente*

Carlo Rubbia

Massimo Sarni

Paolo Scaroni

Umberto Veronesi

## GRAFICA

Carla Baffari

# Rosetta, una straordinaria opportunità per l'Europa e per l'Italia

**S**ei mesi dopo essersi risvegliata dal letargo e dopo 10 anni di viaggio nello spazio più profondo, la sonda spaziale europea Rosetta è finalmente arrivata a 30 chilometri dalla cometa sulla quale Philae, la sua navicella robotica di atterraggio, andrà a depositarsi ai primi di novembre.

In questi tre mesi scenderà fino a 10 chilometri dalla superficie della cometa e avrà il tempo necessario ad analizzarla per identificare il posto più adatto all'atterraggio di Philae. Poi non l'abbandonerà più e proseguirà con lei il suo viaggio verso il Sole.

Si tratta di una missione straordinaria per la lunghezza, la complessità e per l'ambizione del suo obiettivo: atterrare su una cometa e studiarne natura e storia.

Non sono affatto banali né il viaggio, né il significato della ricerca, come potete leggere negli articoli di questo fascicolo. Perché le comete sono relitti dell'origine del nostro sistema solare, tenuti in una sorta di congelatore cosmico molto al di là dei pianeti esterni e rimasti invariati per oltre 4,5 miliardi di anni.

Quando ci è possibile raggiungerne una, abbiamo un'opportunità unica per imparare cose nuove del nostro Sole, della Terra, dei pianeti e persino dell'inizio della vita.

Oltre la descrizione degli aspetti tecnici, scientifici e anche storici, balzano agli occhi tre realtà che sono motivo di orgoglio per chi ama l'Europa: la capacità di programmare e realizzare in modo unitario progetti complessi a lungo termine; quella di ricorrere alla innovazione agile e coraggiosa per risolvere gli imprevisti; la visione di come accrescere la conoscenza con ricerche non certo convenzionali.

Come corollario di queste realtà, abbiamo un fatto che potrebbe anche apparirci straordinario: ai vertici gestionali di questa missione ci sono due italiani, Paolo Ferri e Andrea Accomazzo, che con grande intelligenza, competenza e rigore da quasi vent'anni la hanno vissuta nella sua progettazione ed esecuzione. Con loro, una bella schiera di tecnici e scienziati da tutta Italia, che hanno progettato le ricerche e gli strumenti per realizzarle. A loro è dedicata una nota nelle pagine che seguono.

Gli esempi da imitare in questa impresa, per l'Europa e per l'Italia, in materia di cooperazione e capacità di gestione, sono molto importanti.

A volte, per rendersi conto che esistono, bisogna però andarli a trovare in prossimità di Giove, ai confini dello spazio profondo. Ma ci sono e, quando si presentano, possono lasciare il segno. (a.o.)



## EDITORE

Tech.Rev. Srl  
Presidente Alessandro Ovi  
Via del Corso 504 - 00186 Roma  
Tel. 06 36888522  
E-mail: ovi@techrev.it  
Sito: www.technologyreview.it

## AMMINISTRAZIONE

Tech.Rev. Srl  
Via del Corso 504 - 00186 Roma  
Segreteria: Elisabetta Sabatini,  
Tel. 06 36888522 - 3666608080  
E-mail: admin@technologyreview.it  
Abbonamento annuale 30 euro  
- Pagamento on line tramite carta  
di credito su www.technologyreview.it  
- Versamento su c/c bancario  
n. 010000002783 intestato a Tech.Rev.  
Srl presso CREDEM, Agenzia 2  
Via del Tritone 97 - 00187 Roma  
(CIN L - ABI 03032 - CAB 03201 -  
IBAN IT57 L030 3203 2010 1000 0002 783)  
- Invio assegno bancario non trasferibile  
intestato a Tech Rev. Srl  
presso la sede amministrativa  
- Versamento su c/c postale  
n. 41190836 intestato a Tech. Rev. Srl

## DIREZIONE E REDAZIONE

Via in Publicolis 43  
00186 Roma  
Tel./Fax 06 68974411  
E-mail: jadroma@gmail.com  
Segreteria: Lavinia Giovagnoni

## COPYRIGHT©2014

Technology Review  
One Main Street  
Cambridge, Ma 02142 USA  
Technology Review edizione italiana  
Tech.Rev. Srl  
Via del Corso, 504  
00186 Roma  
Registrazione del Tribunale di Roma  
n.1/2003

## STAMPA

Tipografia RICCI Arti Grafiche  
Via Bolghieri 22-26  
00148 Roma  
Finito di stampare in agosto 2014

Un fascicolo 6 euro - IVA Assolta dall'editore  
ai sensi dell'art. 74, I comma, lettera C,  
D.P.R. n.633/1972 e successive modificazioni

### 1 **Rosetta, una straordinaria opportunità per l'Europa e per l'Italia**

Sei mesi dopo essersi risvegliata dal letargo e dopo 10 anni di viaggio nello spazio più profondo, la sonda spaziale europea Rosetta è finalmente arrivata a 30 chilometri dalla cometa sulla quale Philae, la sua navicella robotica di atterraggio, andrà a depositarsi ai primi di novembre. (a.o.)



Fonte: ESA

**MIT Technology Review,**  
edizione italiana, è realizzata  
con il contributo di

**Enel**

**Eni**

**Ferrovie dello Stato Italiane**

**Olivetti**

**STMicroelectronics**

**Telecom Italia**

**Poste Italiane**

### 4 **La cometa di Rosetta**

Di settimana in settimana pubblicheremo un dossier esauriente su questa importante impresa spaziale che rilancia le capacità tecnologiche e industriali dell'Europa in un settore, come quello spaziale, sempre soggetto a imprevedibili oscillazioni d'interesse.

**Alessandro Ovi**

1. Il risveglio di Rosetta
2. Rosetta si avvicina alla cometa
3. A vista d'occhio
4. Perché Rosetta
5. Intorno alla cometa
6. Una forma irregolare
7. A un passo dalla meta
8. Misteri e saperi (g.p.j.)
9. Sempre più vicino
10. A portata di mano

## FINMECCANICA INNOVAZIONE

11

**La scienza e l'industria italiane  
per Rosetta e Philae**

12

**Scritti a mano,  
ma in formato digitale**

I recenti programmi di digitalizzazione dei manoscritti della Biblioteca Apostolica Vaticana segnano il passaggio da una cultura elitaria a una sua fruizione allargata, basata su un impiego originale di tecnologie per lo più già disponibili e garantite.

**Gian Piero Jacobelli**

15

**Digitalizzare: cosa e perché**

Intervista con il prof. Ambrogio Piazzoni, Vice Prefetto della Biblioteca Apostolica Vaticana. (g.p.j.)

## MITTR Mondo

GERMANIA

16

**Un'alba silenziosa**

Poco dopo l'allunaggio e lo sbarco di Yutu, il primo rover lunare cinese, si sono manifestati alcuni preoccupanti problemi meccanici.

**Marcel Grzanna**

CINA

17

**La corsa spaziale  
alla crittografia quantistica**

Europa e Cina stanno avendo la meglio nella corsa al rinvio di messaggi perfettamente sicuri dai satelliti in orbita terrestre.

**The Physics arXiv Blog**

## 18 Se non ora, quando?

Secondo gli esperti, potrebbero volerci decenni prima che le vetture automatiche possano affrontare affidabilmente la viabilità reale.

**Lee Gomes**

## 19 Viva la pigrizia!

Google propone un nuovo approccio radicale alla guida automatica.

**Tom Simonite**

### RASSEGNE

## 21 Meta System

L'azienda emiliana collabora con BMW per i componenti dei modelli elettrici.

**Matteo Ovi**

### IIT INNOVAZIONE

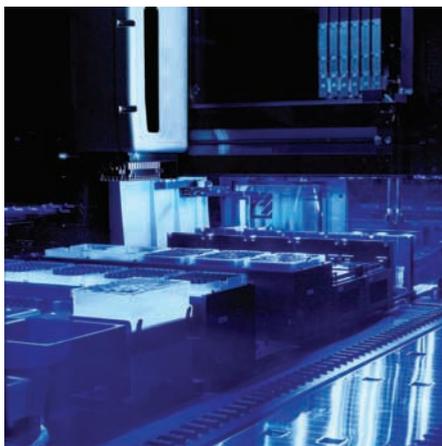
## 22

- L'unione fa la forza... del grafene
- Dalla ricerca al mercato

### FS INNOVAZIONE

## 23 Stai attento! Fai la differenza

**Claudia Frattini**



## 24 L'Internet delle cose

Piccoli e spesso invisibili computer sono in grado di rilevare dati e trasmetterli dovunque. Che impatto avranno sulle attività commerciali?

**Antonio Regalado**

## 25 L'economia delle piattaforme

La crescita costante degli oggetti connessi crea effetti di rete ancora non prevedibili, neppure da parte di esperti come Marshall Van Alstyne.

**Antonio Regalado**

## 26 A spasso con i sensori

Con la crescita costante dell'affidabilità dei congegni indossabili, gli utenti si serviranno sempre più di queste tecnologie per organizzare la loro vita.

**Rachel Metz**

### RASSEGNE

## 27 La filosofia dell'essere per fare

Una recente collaborazione tra strutture amministrative e accademiche ha prodotto un originale progetto di gestione dei sistemi informativi.

**Renzo Pieroni**

### OPINIONI

## 28 Intelligente come Google

L'inventore e futurologo Ray Kurzweil sostiene che Google è all'opera per una comprensione più profonda dell'informazione on line.

**Tom Simonite**

## 29 Nubi sulla nuvola

Gli esperti vedono nero nel futuro di Internet. Tuttavia alle considerazioni negative si possono contrapporre le imprevedibili possibilità della tecnologia.

**Angelo Gallippi**

## 30 Progettare le connessioni

Le tecnologie digitali si sono legate alle nostre vite e ai nostri corpi. Come possiamo trarne i maggiori benefici senza tramutarci in cyborg?

**Federico Casalegno**

## 31 Controllare le tecnologie digitali

Le riflessioni di Federico Casalegno sulle tecnologie digitali pongono il problema del potenziamento delle nostre capacità di pensiero.

**Andrea Granelli**

## 32 Pensare: porre domande, cercare risposte

Pensare, provare emozioni e decidere sono le funzioni più intimamente umane, di cui tuttora sappiamo davvero poco.

**Jason Pontin**

## 34 I nuovi strumenti delle neuro-scienze

Con l'opto-genetica, per la prima volta i ricercatori possono studiare le emozioni, la memoria e la coscienza.

**Stephen S. Hall**

## 40 A caccia del codice segreto del cervello

Il cervello elabora le informazioni mediante l'attività elettrica dei neuroni, da cui dipendono le funzioni mentali.

**Christof Koch e Gary Marcus**

## 44 Il neurone del libero arbitrio

Le ricerche sui processi decisionali hanno mostrato che l'attività cerebrale precede l'azione cosciente.

**David Talbot**

## CONFRONTI Domande e risposte

### 47 Rebecca Saxe

La neuro-scienziata ha scoperto un'area cerebrale con capacità empatiche.

**Courtney Humphries**

### 48 Joseph LeDoux

Il processo di consolidamento della memoria può alterarne il funzionamento.

**Brian Bergstein**

### 50 Antonio Damasio

Uno dei più noti neuro-scienziati mondiali ha dimostrato l'importanza delle emozioni.

**Jason Pontin**

## 52 Una luce nel buio della follia

Gli sviluppi della genetica del cervello potrebbero dare un nuovo impulso alla ricerca di terapie più efficaci.

**David Rotman**

## 58 La impensabile forza del pensiero

In uno straordinario esperimento, una donna paralizzata utilizza la sua mente per controllare un braccio robotico.

**Antonio Regalado**

# LA COMETA DI ROSETTA

**Alessandro Ovi**

*Editore e direttore di MIT Technology Review Italia.*

Rosetta è il satellite europeo destinato entro l'anno a depositare il suo lander Philae sul nucleo della cometa CG (il nome completo è 67P/ Churyumov-Gerasimenko). Ne seguiremo le vicende durante i prossimi mesi, sino al conseguimento dell'obiettivo, previsto per novembre, quando Philae comincerà a perforare la superficie del corpo celeste.

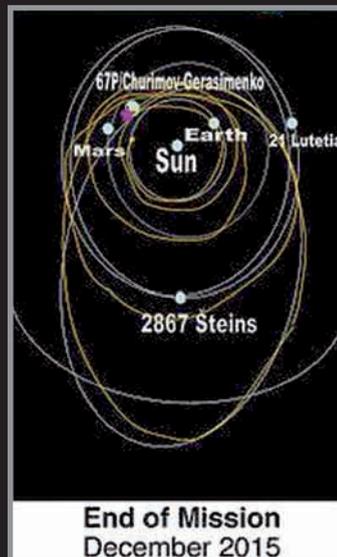
Perché Rosetta e perché Philae? Anche nei nomi si può esprimere il senso delle grandi imprese e le aspettative che le accompagnano.

Ne parleremo, ripercorrendo con l'aiuto dei suoi protagonisti le tappe di questa straordinaria rincorsa alla cometa, e ci interrogheremo sulle sue motivazioni scientifiche:

in altre parole, su cosa possano dirci le comete.

Ma anche, cosa dicevano, sia pure in un diverso contesto e con diverse motivazioni, ai nostri antenati, che hanno spesso cadenzato la loro storia sull'andare e venire di questi allora misteriosi messaggeri del cosmo.

Di settimana in settimana, cercheremo, quindi, di mettere insieme un dossier esauriente su questa importante impresa spaziale che rilancia le capacità tecnologiche e industriali dell'Europa in un settore, come quello dello spazio, sempre soggetto a imprevedibili oscillazioni d'interesse.





## 1. Il risveglio di Rosetta

Dopo 31 mesi, Rosetta dà nuovi segni di vita

**C'**era aria di attesa il 20 gennaio di quest'anno, a Darmstadt, nella sala Controllo di ESOC (European Space Operations Control). Quel giorno Rosetta doveva svegliarsi da un letargo di 31 mesi. Era stata programmata a quel sonno quando, superato Giove, si era addentrata in un'orbita troppo lontana dal Sole per trarne sufficiente energia a mantenere cariche le sue batterie e accesi i suoi strumenti.

Il suo vagare nello spazio era tutto pilotato, a parte poche e piccole spinte autonome di correzione, dai campi gravitazionali del Sole e dei pianeti. Negli ultimi anni solo la gravità l'aveva portata dove era, e dove doveva essere. Raggiunto il punto più lontano dal Sole, stava tornando indietro, ma non per venire a casa.

Doveva essere pronta a mettersi nella scia della cometa che sarebbe passata da quelle parti, avvicinarsi, girarle attorno e trovare l'assetto giusto perché Philae, il lander a quattro zampe che portava con sé, potesse sganciarsi e andare a depositarsi sulla sua superficie. Mano a mano che il segno del risveglio su uno schermo verde, un picco su un piatto segnale di rumore, tardava a comparire dopo il momento atteso, il nervosismo cresceva.

L'amico Berndt Feuerbach, grande scienziato tedesco, presidente dell'Advisory Board ESAC di cui anche io facevo parte, racconta che c'era silenzio in sala e che, dopo 20 minuti dal momento previsto per il risveglio di Rosetta, gli era arrivato un sms di Thomas Reiter, il più famoso astronauta europeo, che con un'aria apparentemente distaccata (solo un astronauta può averla così) gli chiedeva: «Siamo un po' in ritardo Berndt?». «Aspettiamo, Thomas, aspettiamo. È così lontana e ha tante cose da fare prima di dirci che è sveglia. Aprire i pannelli, scaldarsi un po', puntare verso la Terra la sua antenna, provare a trasmettere, e magari



Andrea Accomazzo, Operation Director Rosetta, nella Sala di Controllo a Darmstadt, esulta all'arrivo del segnale del risveglio di Rosetta.

non ci riesce al primo tentativo...». Dopo pochi minuti, per fortuna, lo spike tanto atteso, un picco sullo schermo verde, diceva a tutti che Rosetta si era svegliata. Un grande applauso in sala ha coperto le parole di Andrea Accomazzo, capo delle operazioni, che diceva con i pugni al cielo: «È fatta, si è svegliata». Abbracci, sollievo in sala, un senso di trionfo, anche se nulla di paragonabile alla prima volta che un Apollo riemerse con i suoi tre astronauti dal silenzio dell'altra faccia della Luna, o alla voce di Jim Lovell, comandante di Apollo 13, dopo i minuti di black out nel rientro in atmosfera, alla fine della Odissea dalla Luna, dopo l'esplosione nel modulo di servizio.

Ma una certa commozione c'era. Rosetta era una grande, ambiziosa speranza dell'attività spaziale europea, che ce la aveva fatta a svegliarsi, dopo essere

stata messa in letargo da un impulso lanciato da Accomazzo da una potente stazione in Australia.

Una cosa bella e importante. Successivi segnali informavano che i pannelli solari si erano aperti, che le batterie avevano cominciato a ricaricarsi, che era ripresa la rotazione su un asse per rendere equilibrata l'esposizione al Sole.

Insomma, Rosetta era pronta a mettersi attivamente in caccia della cometa per mandare Philae a esplorarla. Il problema di Philae non sarà stato quello di arrivare sulla superficie, ma di restarci. Una cometa, infatti, ha una gravità così bassa che la cosa più probabile per Philae sarebbe quella di rimbalzare dalla sua superficie e non poterci tornare mai più. Ma Philae ha un'ancora. Accomazzo ha pensato a tutto. Ne riparleremo nelle prossime settimane. ■ (a.o.)

## 2. Rosetta si avvicina alla cometa

Attese, preoccupazioni, speranze, ma soprattutto tante cose da fare.

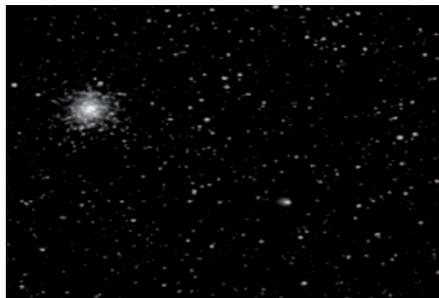
**D**armstadt, 20 Giugno 2014. «Andrea, ma che ha fatto Rosetta dopo il risveglio? Si è lasciata trasportare verso la cometa?», ho chiesto ad Accomazzo incontrandolo a Darmstadt davanti a un ottimo spätzle al formaggio.

«No, no, le abbiamo dato tante cose da fare. La cometa le corre davanti, lei deve mettersi in coda e lentamente scendere a una velocità pochissimo superiore alla sua, per essere pronta, il 6 agosto, a entrare nella sua orbita. Mettersi in coda è meno difficile che regolare la velocità», dice Andrea.

«Abbiamo perciò previsto una serie di burns (spinte) usando poco alla volta i 700 kg di propellente rimasti a bordo nel 2011, dall'inizio del viaggio. L'unico rilevamento a nostra disposizione erano le immagini della cometa, un pixel dal momento del risveglio, sullo sfondo delle stelle fisse. In questo quadro la posizione era chiara. La velocità relativa, molto meno. Comunque tutto è proceduto senza sorprese fino al 16 aprile, quando la cometa è parsa quasi esplodere e il singolo pixel della sua immagine si è circondato di una nube» (fotografia 1).

Non si trattava solo dell'atteso materiale di sublimazione della superficie ghiacciata della cometa per l'avvicinarsi al Sole, ma di una vera e propria polvere, quasi una eruzione di 800 metri al secondo. Nel giro di meno di un mese l'immagine è tornata quella iniziale. Quattro manovre sono già state effettuate. Le più importanti, quelle del 2 maggio, durata sette ore con l'utilizzo di 20 kg di propellente, e quella del 4 giugno, durata 6h 40 minuti (fotografia 2).

«Da notare che sono tutte spinte molto leggere per apportare correzioni di velocità dell'ordine di pochi centimetri al secondo. Ne sono previste ancora sei fino ad arrivare, il 6 agosto, a 100 km dalla cometa. Allora inizierà un serie di interventi per inserire



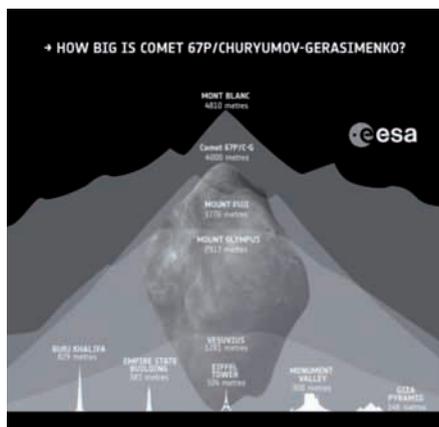
Fotografia 1. La cometa vista da Rosetta il 30 aprile, circondata da una nube di polveri.



Fotografia 2. La cometa il 4 giugno, distante 450.000 km.

Rosetta in un'orbita attorno alla cometa, a 30 km di altezza, per permettere agli strumenti di bordo di caratterizzarla dal punto di vista della gravità, della forma e dell'assetto. Si prevede che ciò possa iniziare il 10 settembre e permettere a Philae di scendere in novembre». (a.o.) ■

L'immagine ritrae la cometa paragonata a famosi monti e monumenti della Terra.



## 3. A vista d'occhio

Procede l'avvicinamento di Rosetta alla sua meta, ora visibile a maggiore risoluzione.

**N**ella settimana passata sono avvenuti tre eventi importanti per Rosetta. Il primo è stato la rilevazione di vapore acqueo proveniente dalla cometa 67PC da parte dello strumento a microonde MIRO, uno spettrometro ad alta risoluzione, che ha effettuato le sue osservazioni quando la navicella distava dalla cometa 360mila km. L'acqua è un importante componente della cometa, insieme a monossido di carbonio, metanolo e ammoniaca. MIRO ci aiuterà ad avere informazioni circa l'abbondanza di ciascuno di questi volatili, al fine di comprendere la natura del nucleo della cometa e il processo di formazione della chioma, che si sviluppa mano a mano che la cometa si avvicina progressivamente al Sole. Seguirà l'evoluzione termica della cometa, fornendo importanti informazioni sulle aree di perdita di gas sulla superficie.

Il secondo è che l'immagine della cometa ha iniziato ad allargarsi. Grazie al sistema di Imaging Osiris, l'immagine, che fino a ora non aveva mai superato la misura minima di un pixel, ha cominciato ad aumentare la definizione, fornendo le prime affascinanti informazioni sulla forma della cometa. Ora, a una distanza di circa 86mila km, una serie di 36 immagini ha permesso di valutare un moto di rotazione della cometa con un periodo di 12,4 ore.

Non ci sarà molto da aspettare prima di vedere cosa questi quattro pixel nascondono: entro le prossime due settimane la cometa si estenderà su una superficie di 20x20 pixel.

Rosetta, che il 5 luglio si trovava ad una distanza di 43mila chilometri dalla cometa 67P/CG, dovrebbe essere arrivata nel weekend a una distanza inferiore ai 36mila km.

Il terzo è che Rosetta ha anche completato la quinta di una serie di dieci manovre di rendez vous, necessarie a garantire l'arrivo della sonda alla cometa il 6 agosto. ■



## 4. Perché Rosetta

Berndt Feuerbacher,  
Presidente della International  
Astronautical Federation.

### Perché la cometa è scientificamente importante?

Le comete sono relitti dell'origine del nostro sistema solare, tenuti in una sorta di congelatore cosmico ben al di là dei pianeti esterni e rimasti invariati per oltre 4,5 miliardi di anni. Quando un simile reperto viene deviato in prossimità del Sole, ci è possibile raggiungerlo. Si tratta di un'opportunità unica per imparare cose nuove del nostro Sole, della Terra, dei pianeti e persino dell'inizio della vita.

### Che aspetto dovrebbe avere abbia la superficie della cometa?

Potrebbe essere formato da duro ghiaccio o da soffice neve, con spuntoni che fuoriescono o profondi canali intagliati. Nessuno ha mai visto finora la superficie di una cometa con una risoluzione migliore di un metro, e il nostro lander è di quelle stesse dimensioni.

### Con che strumenti verrà studiata la superficie della cometa?

Potete consultare liberamente una descrizione di tutti gli strumenti montati su Philae sul blog dedicato, oppure sulla pagina di Rosetta, dove vengono descritte anche le strumentazioni del modulo orbitale. ■



## 5. Intorno alla cometa

Andrea Accomazzo,  
responsabile delle operazioni  
di Rosetta.

### Come si può "guidare" Rosetta?

Rosetta attualmente si trova su una traiettoria di avvicinamento alla cometa la cui posizione però non è conosciuta con sufficiente precisione.

Pertanto, dobbiamo fare una navigazione ottica, prendendo delle immagini della cometa per risolvere questa incertezza sulla sua posizione. Le correzioni di traiettoria di Rosetta sono assolutamente necessarie. Rosetta si sta avvicinando alla cometa, ma se non dovessimo fare queste correzioni, queste manovre di rallentamento, passerebbe in vicinanza della cometa e volerebbe via.

### Quale è invece l'obiettivo della missione?

Noi ci vogliamo fermare alla cometa. La serie di manovre che faremo adesso ci permetterà di avvicinarci e rallentare e fermarci in prossimità della cometa.

Siamo sicuri di riuscire a fare queste manovre se non si presenteranno particolari problemi, al momento non prevedibili, in modo di essere in grado di volare intorno alla cometa. Questa, è la grossa novità della missione Rosetta. ■



## 6. Una forma irregolare

Avvicinandosi alla sua meta, Rosetta svela dettagli significativi del corpo celeste.

**L**e prime immagini della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko hanno rivelato agli scienziati una forma straordinariamente irregolare. Dagli scatti, presi il 14 luglio con la fotocamera ad angolo stretto Osiris da una distanza di 12mila km, si direbbe che, proprio come per il suo nome, la cometa 67P/C-G è composta da due parti.

Un montaggio delle immagini ci permette di vedere una elaborazione della cometa. La tecnica adoperata, di nome "sub-campionamento per interpolazione", permette di rimuovere i pixel e creare un'immagine più nitida, anche se va precisato che le caratteristiche della superficie non saranno lineari come raffigurato nell'elaborazione.

Le condizioni della superficie verranno scoperte una volta più vicino. Al momento, qualunque differenza di luminosità potrebbe portare a interpretazioni errate.

Ciononostante il video, che utilizza una sequenza di 36 immagini interpolate e separata fra loro da un intervallo di 20 minuti, fornisce una stupefacente anteprima a 360 gradi della forma complessa della cometa. A prescindere dalla superficie, possiamo ugualmente distinguere con chiarezza un mondo dalla forma irregolare, tanto da essere già stata paragonata a quella di una papeera, con un corpo e una testa distinti. Un segmento sembra alquanto allungato, mentre l'altro appare più bulboso. Oggetti doppi del genere – conosciuti come sistema binario nella terminologia di comete e asteroidi – non sono rari.

In effetti, la cometa 8P/Tuttle, nelle immagini radio riprese dal telescopio di terra Arecibo a Portorico, sembrava costituita da due oggetti simili a sfere. Anche la cometa a forma di osso 103P/Hartley 2, ripresa durante il passaggio ravvicinato del satellite NASA EPOXI nel 2011, era formata

da due parti distinte, separate fra loro da una regione liscia. Inoltre, le riprese dell'asteroide 25143 Itokawa da parte dell'Hayabusa della JAXA, abbinata ai dati di terra, lasciano supporre che si tratti di un asteroide formato da due sezioni di diversa densità.

Le ricompense scientifiche per lo studio di una cometa di questo tipo sarebbero enormi, dato che esistono varie possibilità sul processo di formazione di questi corpi celesti.

Una delle teorie più affermate è che oggetti simili possano essere nati miliardi di anni fa dalla fusione fra due comete, composte da materiali differenti, durante la formazione del sistema solare, quando piccoli blocchi di detriti di roccia e ghiaccio si sono uniti per formare i pianeti. Forse la cometa 67P/C-G fornirà una prova unica dei processi fisici coinvolti nell'accrescimento.

Ma potrebbe anche essere avvenuto il contrario: una singola cometa potrebbe essere stata deformata dalla forza gravitazionale di un oggetto come Giove o il Sole; del resto, le comete sono cumuli di macerie con una debole forza interna, come osservato con la frammentazione della cometa Shoemaker-Levy 9 e il successivo impatto con Giove 20 anni fa. Forse un giorno le due parti della cometa 67P/C-G si separeranno completamente.

La cometa, d'altro canto, potrebbe essere stata molto più tondeggiante in passato ed essere divenuta asimmetrica in seguito all'e-

vaporazione del ghiaccio, provocata dall'ingresso della cometa nel sistema solare e dalle successive orbite attorno al Sole.

Si potrebbe persino pensare che la particolare dicotomia morfologica della cometa sia dovuta a un catastrofico impatto che avrebbe strappato una parte della cometa. Non si può neanche escludere che una forte esplosione possa avere indebolito un fianco della cometa al punto da provocare il distacco di una sua parte.

Una volta avvicinatasi maggiormente, Rosetta potrà eseguire un'analisi spettroscopica per determinare la composizione della cometa e trarre conclusioni più certe su questa genesi ancora enigmatica.

Secondo il responsabile della missione, Fred Jansen, «attualmente, vediamo immagini che suggeriscono una forma alquanto complessa, ma resta ancora molto da apprendere prima di poter trarre delle conclusioni, non solo per quanto riguarda la scienza delle comete, ma anche per quello che sarà necessario al fine di definire l'orbita di Rosetta e l'atterraggio di Philae. Dovremo condurre analisi e modelli dettagliati della forma della cometa al fine di determinare la migliore traiettoria di avvicinamento, tenendo in considerazione i controlli di volo e l'astrodinamica, i requisiti della missione e gli elementi associati all'atterraggio. Il 6 agosto, le nostre domande troveranno una risposta». ■

## 7. A un passo dalla meta

Paolo Ferri è il responsabile delle Operazioni ESA da cui dipende la struttura operativa diretta da Andrea Accomazzo, che guida anche la gestione di Rosetta.

**P**aolo Ferri ha passato quasi 20 anni della sua vita a progettare prima, realizzare poi e a seguire dall'alto, ora, la missione di Rosetta. Lo abbiamo interpellato ed è stato affascinante seguire il racconto delle difficoltà incontrate fino dall'inizio, non solo dal punto di vista tecnico, ma anche da quello manageriale.

Con l'aiuto di Andrea Accomazzo, Ferri ha superato momenti molto delicati, come quando un rinvio del lancio del Vettore Ariane di Rosetta ha obbligato il gruppo guidato dai due italiani a cambiare la cometa su cui dirigersi, perché quella scelta inizialmente non sarebbe più stata raggiungibile.

Lo presentiamo qui brevemente, perché avremo certo occasione di risentirlo, come testimone di una storia lunga e affascinante che in agosto e novembre avrà passaggi difficili ed essenziali per definirne il successo. Benvenuto tra noi di MIT TR, dott. Ferri. Benvenuto! (a.o.) ■

La cometa 67P/C-G visualizzata il 14 luglio 2014 da una distanza approssimativa di 12mila km.  
Fonte: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS





## 8. Misteri e saperi

Nell'ambivalenza delle concezioni antiche e moderne della cometa si coglie l'importanza anche culturale di una impresa come quella di Rosetta.

**L'**icona che contraddistingue tutti gli interventi dedicati alla spedizione spaziale di Rosetta che nel prossimo novembre raggiungerà la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, vuole segnalare, accanto ai tanti motivi d'interesse scientifico e tecnologico, un ulteriore motivo d'interesse artistico e culturale, che conferma l'importanza di una impresa lunga e difficile, con cui l'Europa torna a assumere un ruolo di rilievo nella esplorazione dello spazio.

Questo ulteriore interesse appare evidente quando si riconosce nella icona stessa un particolare della bellissima *Natività* che Giotto affrescò nella Cappella degli Scrovegni a Padova, come scena centrale del ciclo cristologico che prende le mosse dalla vita di Gioacchino e Anna, i genitori di Maria, per proseguire con episodi mariani e concludersi con la vita e la morte di Gesù. Fino ad allora (l'affresco di Giotto risale ai primissimi anni del Trecento) la stella di Betlemme, nelle scene della *Natività*, era sempre stata rappresentata in una forma specificamente stellare, secondo il testo di riferimento, nel Vangelo di Matteo, l'unico dei quattro evangelisti che ricorda esplicitamente il segno astrale.

A quale fenomeno astronomico facesse riferimento questo testo evangelico è difficile dire. Alcuni studiosi hanno avanzato l'ipotesi di una supernova, cioè di una esplosione stellare particolarmente luminosa, anche se non si può escludere almeno dal punto di vista astronomico l'ipotesi di una cometa: anzi, per maggiore precisione, proprio di quella cometa che milletrecento anni dopo avrebbe indotto Giotto a trasformare in maniera così significativa la iconografia tradizionale. Si tratta della celebre cometa di

Halley, che sembra sia stata visibile nell'anno 12 a.C., come si evince dalle testimonianze del tempo, sia in Occidente, sia in Oriente.

### Perché Giotto dipinse una cometa?

Anche nel caso di Giotto, la sua così innovativa rappresentazione, oltre a rispondere al realismo estetico definito appunto come giottesco, potrebbe derivare dalla diretta visione della cometa di Halley, che nel suo millenario migrare nel sistema solare, tornò visibile nel 1301. Per altro, non fu l'unica cometa a venire registrata in quell'anno, tra Natale ed Epifania: scrive lo storico Giovanni Villani, in *Nuova Cronica*, che «nel detto anno, nel mese di settembre, apparve in cielo una stella commata con grandi raggi di fumo dietro, apparendo la sera di verso il ponente, e durò infino al gennaio».

L'accenno di Villani ci consente di cogliere l'ambivalenza insita nelle concezioni antiche e moderne della cometa. Se, da un lato, Giotto, opera con la cometa una sorta di storicizzazione del racconto sacro (ma alcuni sottolineano piuttosto le implicazioni apocalittiche della scelta di rappresentare una cometa invece di una stella per annunciare la nascita di Cristo), dall'altro lato Villani ripropone quell'evento astronomico in una chiave astrologica, che sembra caratterizzare la cometa in quanto evento inconsueto e catastrofico: «De la quale i savi astrologi dissono grandi significazioni di futuri pericoli e danni a la provincia d'Italia, e a la città di Firenze».

A parte le troppo facili previsioni a posteriori, a riproporsi di tempo in tempo è l'idea che la cometa, oltre a parlarci di sé, di cosa sia fatta, di dove provenga, ci parli anche di qualcosa d'altro, che ieri si presupponeva stare in avanti, nel futuro, mentre oggi si cerca indietro, nel passato.

### Le comete non fanno più paura

Perché questo cruciale passaggio avesse luogo ci sono voluti quattro secoli di tormentose riflessioni, filosofiche e scientifiche, una profonda rivoluzione culturale e un temperamento caustico come quello di Pierre Bayle, autorevole storico e filosofo francese che, alla fine del Seicento, per sottolineare quanto e come il pensiero del mondo e dell'uomo fosse cambiato, nel suo *Dictionnaire Historique et critique*, si mise a dare i voti ai



filosofi antichi e moderni (moderni per lui, ovviamente), stigmatizzando soprattutto quelli che pretendevano di avere trovato la montaliana "formula che il mondo possa aprirsi". Negli stessi anni (1682) Bayle scrisse anche i due volumi dei *Pensées Diverses sur la Comète*, che dall'apparizione dell'ennesima cometa traevano spunto per criticare ogni tipo di pregiudizio, in particolare quello che «le comete, che ci inviano luce, possono benissimo inviarmi qualche altra cosa». Elencando le frequenti apparizioni delle comete dal Duecento al suo tempo, ironizzava, con accenti da mediatore, che se le comete fossero segni, si tratterebbe di segni troppo frequenti, che «perdono la loro efficacia, perché ci si fa l'abitudine».

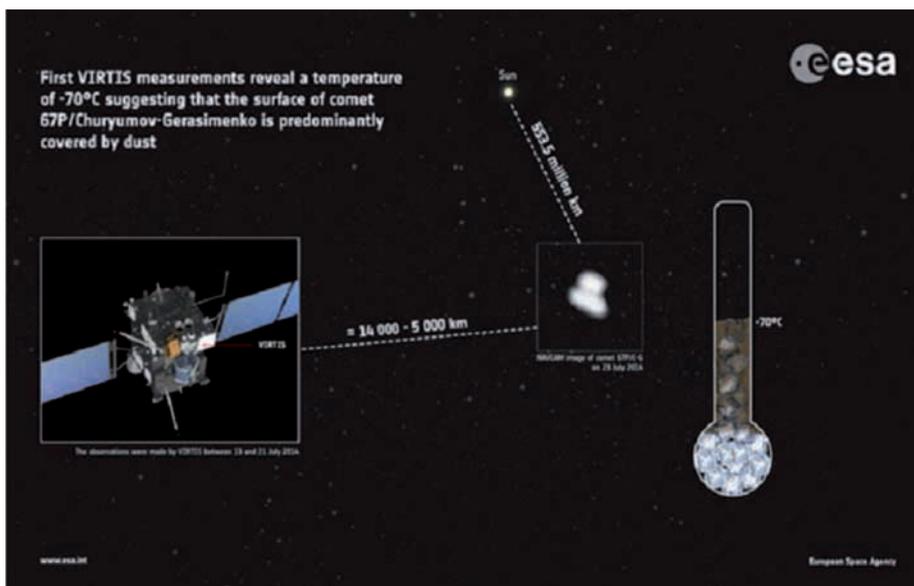
Forse anche alle immagini che ci perverranno da Rosetta finiremo per fare l'abitudine. Ma resta il fatto che Rosetta ha davvero tante cose da dirci: sul passato dell'universo, che potrebbe avere lasciato tracce ancora percepibili nel corpo della cometa; sul passato della vita, che alcuni pensano possa essere venuta da fuori, come molte altre cose che contano davvero.

In quale lingua ci racconterà la nuova Rosetta i misteri della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko? Non dovrebbero esserci dubbi: in quella "lingua matematica" in cui, secondo Galilei, è scritto il libro della natura e che è servita a disegnare le intricate e interminabili orbite di Rosetta tra il Sole e i suoi pianeti. Perciò è lecito sperare che questa volta la cometa, invece di preoccupare chi non sapeva cosa fosse e quali sventure potesse comportare, venga a confortare il nostro desiderio di saperne di più, proprio perché anche noi non possiamo e non vogliamo sottrarci al fascino del cielo stellato. (g.p.j.) ■



## 9. Sempre più vicino

Sta per concludersi il primo conto alla rovescia dell'appuntamento della navicella spaziale europea Rosetta con la cometa 67P/C-G. Intanto si moltiplicano le immagini del corpo celeste.

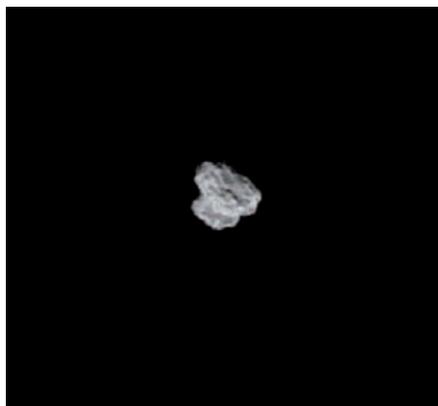
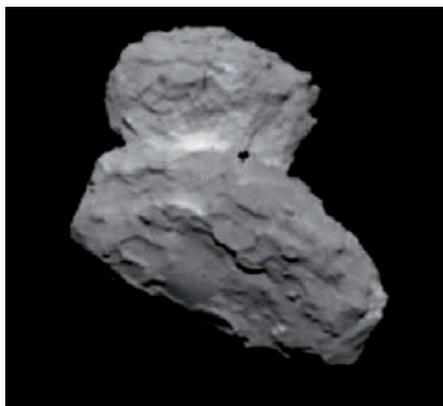


Nella seconda metà di luglio, in fase di avvicinamento, Rosetta ha misurato la temperatura della cometa mediante uno spettrometro termico a raggi infrarossi. La temperatura era di  $-70^{\circ}\text{C}$ , e ciò implica che la superficie sia prevalentemente coperta di polvere piuttosto che di ghiaccio, che avrebbe dovuto risultare molto più freddo.

Questa è una immagine della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko ripresa l'1 agosto dalla telecamera OSIRIS a bordo di Rosetta, a una distanza di circa 1.000 km. Dal 24 luglio l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) pubblica una immagine al giorno, che rende particolarmente suggestiva la marcia di avvicinamento, accrescendone l'interesse.

Il giorno dopo, il 2 agosto, Rosetta fotografava nuovamente la cometa che, per quanto inquadrata in un campo più largo, offre alla osservazione nuovi dettagli.

Il 6 agosto, Rosetta e la cometa s'incontreranno, tra le orbite di Giove e Marte, a circa 544 milioni di chilometri dal Sole: ancora lontano per un appuntamento così intimo.



## 10. A portata di mano

Il 6 agosto Rosetta ha raggiunto la cometa e ha cominciato le manovre per avvicinarsi.

**D**elle 10 manovre di correzione di orbita, iniziate il 7 maggio, l'ultima, quella d'inserimento nell'orbita della cometa ha avuto luogo con successo il 6 agosto.

L'ingresso in orbita di Rosetta è stato attivato da una breve, ma cruciale spinta della durata di soli 6 minuti e 26 sec, a partire dalle 09.00 GMT (*Greenwich Mean Time*), equivalente alle 11.00 CEST (*Central European Summer Time*).

Il programma dei comandi era stato caricato durante la notte del 4 agosto.

L'inserimento in orbita significa che Rosetta comincerà a eseguire una serie di percorsi triangolari, ciascuno lungo circa 100 km, ed effettuerà una piccola propulsione a ogni vertice per spostarsi sulla tratta successiva e restare vicino alla cometa.

Ci vorranno da tre a quattro giorni per completare ogni tratta. L'altezza dei percorsi sopra la superficie sarà progressivamente diminuita fino a una quota compresa tra 5 e 10 km, da dove il *lander* Philae verrà fatto scendere sulla superficie della cometa.

La discesa sarà molto lenta a causa della bassissima gravità della cometa. ■

La cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, fotografata da 30 km.



## La scienza e l'industria italiane per Rosetta e Philae

**L**a partecipazione italiana alla missione Rosetta dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) è stata e continua a essere molto importante. Oltre naturalmente all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), anche le aziende del gruppo Finmeccanica Selex ES, Telespazio e Thales Alenia Space hanno partecipato alla missione dalle sue prime fasi: non solo nella progettazione e nella esecuzione del lungo volo verso la cometa, ma anche nella ideazione di specifici progetti di ricerca e nella realizzazione degli strumenti necessari.

Degli undici strumenti scientifici presenti a bordo dell'*orbiter* tre sono di provenienza industriale italiana (appunto della Selex ES). VIRTIS (*Visual InfraRed and Thermal Imaging Spectrometer*), di cui è *principal investigator* (responsabile di progetto) Fabrizio Capaccioni dell'INAF-IAPS, l'Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali di Roma, combina 3 canali di osservazione in un unico strumento: due canali per la ricostruzione della mappa spettrale del nucleo della cometa; il terzo per la spettroscopia ad alta risoluzione. Queste osservazioni serviranno a selezionare la zona su cui scenderà il *lander*.

GIADA (*Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*), di cui è *principal investigator* Alessandra Rotundi, dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope", è uno strumento in grado di analizzare composizione e velocità delle polveri e dei grani di materiale presente nella chioma della cometa. WAC (*Wide Angle Camera*), "firmata" da Cesare Barbieri dell'Università di Padova, è una componente importante di OSIRIS (*Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System*), il sistema di raccolta di immagini a bordo di Rosetta. OSIRIS è composto da due canali: NAC (*Narrow Angle Camera*), per ottenere mappe ad alta risoluzione del nucleo della cometa; WAC (*Wide Angle Camera*), di progettazione italiana, per ottenere mappe ad alta risoluzione del materiale gassoso e delle polveri circostanti, che serviranno per orientare il *lander*.

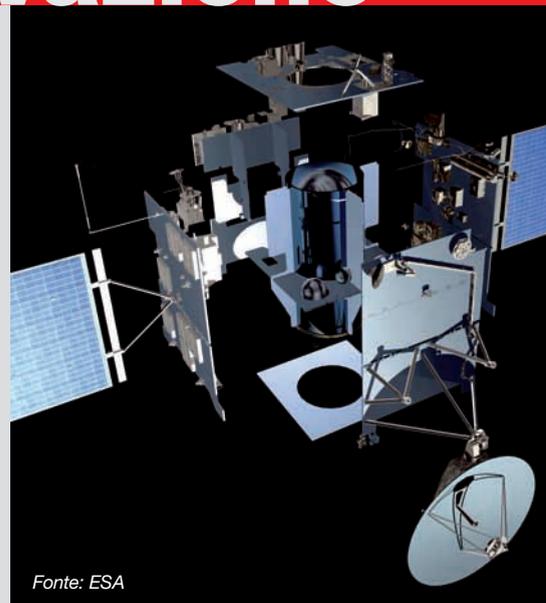
A bordo del *lander* è italiano il "trapano" che provvederà all'acquisizione dei campioni dal nucleo della cometa (SD2, *Sample Drill&Distribution*), realizzato con il contributo di Selex ES e di cui è responsabile scientifico Amalia Ercoli Finzi del Politecnico di Milano. È anche italiano il sottosistema dei pannelli solari, realizzato presso lo stesso Politecnico. SD2 costituisce un componente miniaturizzato, in grado di resistere alle condizioni ambientali in cui dovrà operare per penetrare il nucleo della cometa sino a 20 cm di profondità e distribuirne i campioni in appositi contenitori, dove verranno analizzati dagli strumenti di Philae.

Per Philae è stato costituito un Consorzio Internazionale a cui partecipa ASI che, oltre alla realizzazione di SD2 e dei Solar Array (SA), ha co-gestito il progetto con un Project Manager Deputy e contribuisce alle attività a livello di sistema e di sottosistemi.

Per la missione di Rosetta, Selex ES ha aggregato a Firenze un nutrito ed entusiasta gruppo di ingegneri: per VIRTIS e GIADA, Enrico Suetta, Michele Dami, Massimo Così, Giampaolo Preti, Andrea Cisban; per SD2, Edoardo Re e Pier Giovanni Magnani.

Anche Telespazio è stata coinvolta nel programma Rosetta dalla fine degli anni Novanta, quando l'ESOC iniziò la pianificazione della missione. La sua controllata Telespazio VEGA Deutschland ha sviluppato il simulatore per l'*orbiter* e ha guidato la formazione del Flight Control Team in tutte le fasi della missione. Ha inoltre sviluppato il Mission Control System e il Mission Planning System, partecipando al Flight Control e al Flight Dynamics di Rosetta. Inoltre, supporta le operazioni connesse a Philae.

In particolare, il primo contratto acquisito da Telespazio VEGA Deutschland riguardava lo sviluppo del simulatore per l'*orbiter*, realizzato insieme ai simulatori per le missioni MarsExpress e VenusExpress. Dalla sua consegna all'ESOC di Darmstadt, il simulatore è stato utilizzato per preparare i tecnici alle varie operazioni. Le attività di simulazione sono state guidate da due esperti di Telespazio VEGA Deutschland.



Fonte: ESA

Ma Rosetta non è solo l'*orbiter*. La sonda porta a bordo infatti diversi *payload*, il più spettacolare dei quali è il *lander* Philae, progettato e realizzato da ASI, DLR e CNES. Koen Geurts di Telespazio VEGA Deutschland gestisce le fasi di *project management* generale e tecnico di Philae.

In sintesi, Telespazio è stata coinvolta in tutte le fasi della missione: dai primi scenari virtuali al contatto con la cometa.

Infine, la missione Rosetta si giova dell'esperienza di Thales Alenia Space (*joint venture* tra Thales, 67%, e Finmeccanica, 33%) nella realizzazione di satelliti scientifici. In qualità di contraente principale per conto della capocommissa Airbus Defence and Space (prima Astrium) per le attività di assemblaggio, integrazione e prove dell'*orbiter*, Thales Alenia Space ha provveduto a fornire le attrezzature meccaniche ed elettriche di supporto a Terra: MGSE (*Mechanical Ground Support Equipment*) e EGSE (*Electrical Ground Support Equipment*).

Rosetta è una missione dagli aspetti particolarmente complessi, primo fra tutti la lunga durata, per cui risulta fondamentale il lavoro sistemistico svolto da Thales Alenia Space, che ha anche realizzato il Deep Space Transponder dell'*orbiter*, per le comunicazioni con la Terra: un apparato estremo innovativo, indispensabile nelle missioni interplanetarie. Ma altrettanto importante è la verifica delle funzionalità autonome di cui è dotata Rosetta in quanto, a causa della distanza da Terra, i segnali radio impiegano oltre 20 minuti per collegarla con il centro ESA di Darmstadt. ■

# SCRITTI A MANO, MA IN FORMATO, DIGITALE

I recenti programmi di digitalizzazione dei manoscritti della Biblioteca Apostolica Vaticana segnano il passaggio da una cultura elitaria a una sua fruizione allargata, basata su un impiego originale di tecnologie per lo più già disponibili e garantite.

**Gian Piero Jacobelli**

**C**olpisce soprattutto il silenzio. Attraversando le sale di lettura della Biblioteca Apostolica Vaticana, dove tanti studiosi, giovani e meno giovani, esaminano, confrontano, trascrivono opere vergate a mano e miniate, che vengono sfogliate lentamente e con cura sui loro leggi, questo silenzio, nelle sue diverse accezioni, assume un valore epocale, come un segno discriminante tra il prima e il dopo dell'era digitale.

Il prima si condensa nella silenziosa sacralità dell'accesso all'antico sapere, quale si riscontra in particolare nello splendido palazzo che alla fine del Cinquecento Papa Sisto V fece realizzare dall'architetto Domenico Fontana nella Città del Vaticano, a ridosso del grande cortile del Belvedere. Tra saloni e salette dedicate alle diverse sezioni e funzioni della Biblioteca Vaticana tutto si svolge nel sommesso silenzio del libro, in quella moderazione di comportamenti e di gesti che non costituiscono soltanto un principio di educazione, ma anche un paradigma del sapere.

Il dopo, per quanto ancora concentrato negli stessi ambienti riservati e attutiti, si proietta nel fragoroso silenzio della rete e delle sue modalità di fruizione, preconizzato dalle parole con cui, nella primavera del 2010, il Prefetto della Biblioteca Vaticana, monsignor Cesare Pasini, confermava l'intenzione di avviare la digitalizzazione di tutti gli oltre 80mila manoscritti presenti nella Biblioteca Vaticana: «Si può prevedere di riprodurre circa quaranta milioni di pagine, con una mole di dati informatici prevista nell'ordine di 45 petabyte, cioè 45 milioni di miliardi di byte! Ovviamente pagine variamente scritte o anche illustrate e annotate, da fotografare nella più alta qualità e definizione, per raccogliere il maggior numero di dati e non dover tornare in futuro a ripetere un lavoro così immenso; e manoscritti delicati, da trattare con cura senza recare danneggiamenti di sorta».

Alcune pionieristiche esperienze di digitalizzazione presso la Biblioteca Vaticana risalgono alla seconda metà degli anni Novanta, quando in collaborazione con la IBM vennero digitalizzati in

bianco e nero 150 tra i più importanti manoscritti della Biblioteca e venne costituito un Laboratorio digitale che ha cominciato a digitalizzare i microfilm dei manoscritti già disponibili. Da allora dopo un primo studio di fattibilità, la digitalizzazione, oltre a vari progetti pionieristicamente importanti, ma di minori dimensioni, ha fatto leva su tre principali collaborazioni e sponsorizzazioni.

La prima collaborazione, avviata nel novembre 2010 con l'Università di Heidelberg, concerne un progetto pilota (133 manoscritti) e, dal gennaio 2012, i restanti 1.990 manoscritti latini del Fondo palatino.

La seconda collaborazione, avviata nel dicembre 2013, con le Bodleian Libraries di Oxford e il sostegno finanziario della Polonsky Foundation, concerne un milione e mezzo di pagine tra manoscritti e incunaboli (circa 2.500 volumi) che verranno digitalizzate in cinque anni. Fra questi ultimi, il famoso incunabolo del *De Europa* di Pio II Piccolomini, stampato da Albrecht Kunne a Memmingen non oltre il 1491, e la *Bibbia* latina delle 42 linee di Johann Gutenberg, il primo libro stampato a caratteri mobili tra il 1454 e il 1455.

La terza collaborazione con la società giapponese NTT Data, comporta un investimento di 18 milioni di euro, durerà quattro anni e riguarderà circa tremila manoscritti, con cui il numero di opere già digitalizzate della Biblioteca Vaticana salirà a 15mila. La NTT Data dovrà acquisire 41 milioni di pagine manoscritte, datare tra il II e il XX secolo.

Al progetto stanno già collaborando una ventina di giovani operatori appositamente addestrati, che arriveranno a una cinquantina alla fine del quadriennio. Il lavoro si svolge secondo procedimenti formalizzati che prevedono, in sequenza, la scelta dei manoscritti da scannerizzare, l'analisi critica e la redazione di una scheda dello stato del manoscritto (relativa in particolare alla possibilità di aprirlo, in diversa misura, e di sfogiarlo), i piccoli interventi di restauro necessari a garantirne la manipolabilità. Ovvia-

mente i manoscritti che richiedessero interventi di conservazione più radicale, verrebbero prima inviati al laboratorio di restauro.

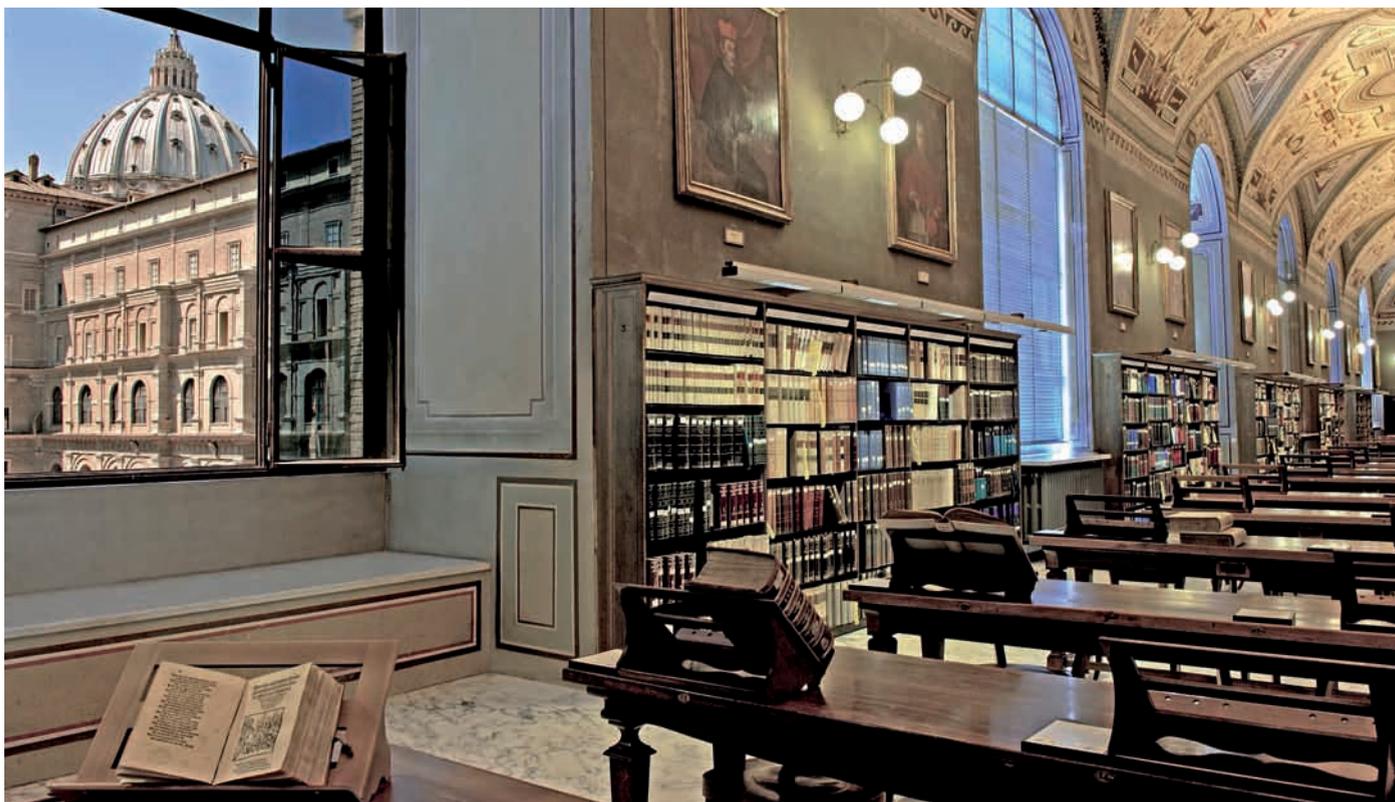
Può avere così inizio la fase di scannerizzazione in ambiente a temperatura, umidità e luminosità controllate. I manoscritti vengono scannerizzati pagina per pagina (non “a specchio”, per evitare ogni indebita compressione) grazie a uno speciale leggio basculante, messo a punto per la circostanza, che consente di inquadrare perfettamente le pagine anche senza aprire completamente il volume. Il lavoro di scannerizzazione viene supervisionato da alcuni tutor (un tutor ogni 5 operatori). Le riproduzioni digitali, che non subiscono alcuna elaborazione ulteriore, se non per regolarizzarne il contorno, vengono poi confrontate con il manoscritto originale, soprattutto per il controllo della sequenza delle pagine.

Infine, il responsabile del progetto, che appartiene alla Biblioteca Vaticana e non, come gli operatori, a ditte esterne, valuta i tempi della pubblicazione on-line del manoscritto. La pubblicazione avviene a scadenza mensile, al ritmo di circa 100 manoscritti al mese. Attualmente si opera su 7 scanner, che però diventeranno progressivamente 25, consentendo di ridurre i tempi di completamento della scannerizzazione dei manoscritti vaticani a 15 anni. Al momento, sono disponibili circa 500 manoscritti in formato digitale.

La digitalizzazione ha come scopo primario la conservazione a lungo termine: oltre a un “immagazzinamento” dei dati nel luogo in cui vengono elaborati e in un *disaster recovery* altrimenti protetto, appare quindi fondamentale un formato adeguato di conservazione, in grado di durare nel tempo, che è stato identificato nel FITS (*Flexible Image Transport System*). Il FITS è un formato non proprietario, cioè non legato a specifiche società e ai loro “capricci” (o costi) o esiti futuri (come è il formato TIFF), ma affidato alla comunità scientifica internazionale che lo aggiorna da più di quarant’anni. Ora, grazie alla collaborazione con l’istituzione che governa il FITS nel mondo, si sta operando perché diventi specificamente adattabile alle esigenze della digitalizzazione finalizzata ai beni culturali. A questo proposito, va richiamato il fatto altamente positivo di una collaborazione costruttiva e proficua fra mondo strettamente tecnico-scientifico (il FITS nasce in ambito astrofisico, di fatto dalla NASA) e mondo umanistico, in ragione di quella unità profonda del sapere e della cultura che talvolta non viene considerata o, peggio, viene ritenuta non praticabile.

L’attenzione rivolta alle procedure, che si giustifica per la rarità e la preziosità dei materiali coinvolti, segnala anche come gli autentici elementi di novità del progetto non siano prettamente tecnologici: vengono infatti utilizzate apparecchiature (scanner





della Metis System e Hasselblad 50 mpixel) che erano già disponibili nel Laboratorio Digitale della Biblioteca Vaticana e che gli stessi tecnici giapponesi hanno considerato pienamente rispondenti alle necessità del lavoro, operandovi soltanto marginali integrazioni e modifiche. Ciò che è davvero nuovo, nel senso di una concezione prevalentemente “culturale” dell’innovazione, risiede nell’articolazione e nella finalizzazione del progetto, in particolare nel software per la gestione dei file digitali, che NTT Data sta perfezionando anche nella prospettiva di ulteriori opportunità di mercato.

Infine, è allo studio una sorta di originale *crowdfunding*, cioè la possibilità di partecipare economicamente all’impresa anche individualmente e anche in piccola misura, sponsorizzando per esempio la digitalizzazione di una sola pagina, con una menzione e, per così dire, un’adozione personalizzata. Si tratta di un’altra innovazione di valore tanto imprenditoriale quanto etico, se si pensa alla tradizionale “gelosia” di chi tende a confondere il sapere con il potere.

Ma il vero passaggio epocale, il fattore sostanzialmente innovativo, come si può leggere nella intervista con il prof Ambrogio Piazzoni, Vice Prefetto della Biblioteca Vaticana, consiste nell’apertura dell’accesso, non più riservato ai soli studiosi e soggetto a inevitabili vincoli selettivi, ma consentito a tutti i lettori potenziali, inclusi i semplici cultori della materia. La digitalizzazione e la messa on-line, infatti, rende i manoscritti accessibili anche e soprattutto oltre le mura della Biblioteca.

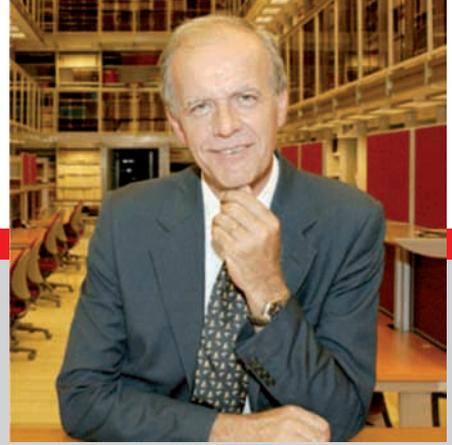
A questo scopo sono state stabilite alcune condizioni per la consultazione in rete e per il download gratuito, concernenti sia la sicurezza, sia la correttezza della consultazione stessa: chi consulta il manoscritto si deve iscrivere al sito della Biblioteca (lascian-

do, quindi, traccia di sé), le immagini poste in rete sono a bassa definizione (non possono venire usate per la stampa), presentano una filigrana che non disturba la consultazione, ma non consente di utilizzare la pagina per altri siti o per scopi commerciali e, infine, recano una traccia informatica della loro origine per ogni necessità di ricostruzione del percorso delle immagini.

Se ieri per accostarsi ai manoscritti della Biblioteca Vaticana, a parte gli accreditamenti accademici e le indispensabili cautele, era ovviamente necessario venire a Roma, da domani alcuni tra i maggiori tesori bibliografici della civiltà occidentale, e non soltanto, saranno alla portata di ogni schermo digitale: dalla *Divina Commedia* di Dante Alighieri, con le illustrazioni di Sandro Botticelli, realizzate per Lorenzo de’ Medici intorno al 1490, alla *Bibbia Urbinate*, commissionata da Federico da Montefeltro, dal *Virgilio Vaticano*, uno dei pochi sopravvissuti testi classici illustrati, ai *Vaticani* estremo-orientali, tra cui il manoscritto dei secoli XVI-XVIII, contenente undici pitture ad acquerello rappresentanti figure giapponesi di danza, e il manoscritto del 1613 contenente il giuramento sottoscritto da quarantadue cristiani di Kuchinotzu (Giappone) in difesa dei loro missionari.

Tutti questi capolavori, e molti altri, fanno parte dei manoscritti la cui digitalizzazione è prevista dall’accordo con NTT Data e, quindi, diventeranno letteralmente patrimonio comune, a testimonianza di come, quando le “due culture”, quella scientifico-tecnologica e quella umanistico-letteraria, la elaborazione dei mezzi e quella dei fini, riescono a trovare programmatiche sinergie, a guadagnarci sia sempre la più ampia e democratica diffusione delle conoscenze. ■

*Gian Piero Jacobelli è direttore responsabile*



# Digitalizzare: cosa e perché

Intervista con il prof. Ambrogio Piazzoni

Vice Prefetto della Biblioteca Apostolica Vaticana

Il prof Ambrogio Piazzoni, docente di paleografia latina e studioso di storia medioevale, che opera nella Biblioteca da quasi trent'anni e che ci ha accompagnato con cortese disponibilità e competenza nella conoscenza dei progetti di digitalizzazione della Biblioteca Vaticana, sottolinea come, rispetto ai tradizionali compiti della Biblioteca, quello di raccogliere i libri e quello di conservarli, oggi vada prendendo sempre maggiore rilievo quello di catalogare e mettere a disposizione questi libri, più o meno preziosi.

## Come influisce la digitalizzazione sul rapporto tra conservazione e fruizione dei manoscritti?

Leggere i libri comporta alcune ricadute negative, perché i libri, a leggerli, si consumano, assai più di quanto non si consumino in condizioni ambientali ottimali. Nel deposito dei manoscritti della Vaticana c'è buio, la temperatura è intorno ai 18/20 gradi centigradi e l'umidità relativa è al 50 per cento. La luce, oltre alla stessa temperatura e umidità di chi li legge, ne rendono precaria la conservazione e richiedono quindi la continua ricerca di un equilibrio ottimale tra conservazione e uso del patrimonio librario. Nella ricerca di un tale equilibrio, le tecnologie della digitalizzazione indicano una strada percorribile e assai promettente. Sta diventando possibile studiare un manoscritto anche attraverso una buona copia digitale: se, per esempio, posso effettuare la lettura e la trascrizione di un testo utilizzando la copia e devo prendere in mano l'originale solo per lo studio codicologico o per qualche controllo finale, avrò consumato di meno quel manoscritto e gli avrò, per così dire, allungato la vita.

## L'utilità della digitalizzazione appare evidente, ma meno evidente risulta la scelta di cosa digitalizzare.

La scelta strategica della Biblioteca Vaticana è quella di non digitalizzare inutilmente. Ciò

ha portato a privilegiare la digitalizzazione dei pezzi unici che la Biblioteca possiede e non delle opere che si possono trovare anche altrove. Per il momento i nostri progetti riguardano i manoscritti e non pensiamo ai volumi stampati, a parte una selezione di incunaboli che spesso sono pezzi unici o quasi. In effetti, milioni di testi sono già disponibili in rete, per esempio nei siti delle biblioteche nazionali, o in siti che riuniscono gruppi di biblioteche, come in Europeana, o anche in siti commerciali, come Google Books. La scelta dei manoscritti ha comportato alcune conseguenze sul piano tecnologico, per esempio facendo escludere, anche se molto più rapidi, sistemi automatizzati di gestione dei volumi. Con i nostri sistemi artigianali, in un paio di minuti si digitalizza una pagina e non un volume. Una volta determinate le procedure, abbiamo elaborato una scala di priorità secondo i seguenti criteri: delicatezza, fragilità, pericolo di scomparsa, importanza e preziosità, disponibilità di fondi, richieste degli utenti.

## La digitalizzazione consente una consultazione esauriente per quanto concerne i contenuti evidenti dei manoscritti. Ma in quale misura può sostituire uno studio più diretto e approfondito delle loro caratteristiche intrinseche?

Un aspetto particolare, ma indicativo di questo problema riguarda i codici palinsesti, che nascondono uno e talvolta due testi più antichi sottostanti quello più recente, che si legge. Molti di questi palinsesti sono stati trattati in passato con materiale chimico come l'acido gallico, che metteva in maggiore risalto le scarse tracce lasciate dalla scrittura cancellata, consentendone l'almeno parziale decifrazione. Ma con il passare degli anni queste pagine stanno diventando sempre più scure per il processo di ossidazione innescato dalle reazioni chimiche. Anche in questo caso, la digitalizzazione può fornire un prezioso aiuto. Da alcuni anni abbiamo messo a punto

un progetto, che abbiamo chiamato Progetto Cicerone perché la scoperta di un testo del *De Republica* di Cicerone, che si credeva perduto, avvenuta nel 1819 nel manoscritto *Vaticano Latino 5757*, ha dato inizio ai moderni studi sui palinsesti. Prima che sia troppo tardi, stiamo realizzando riproduzioni digitali molto particolari con tecniche messe a punto con la società giapponese Toppan, che ha costruito per noi uno speciale scanner in grado di generare per ogni pagina due immagini esattamente sovrapponibili, una a luce naturale e una con illuminazione a raggi ultravioletti. Il programma informatico del sistema può analizzare le due riprese sovrapponendole e integrandole, così da isolare le differenti scritture: manovrato da esperti paleografi, è in grado di "cancellare virtualmente" la scrittura superiore e rendere molto più visibile quella inferiore.

## Per consultare facilmente i manoscritti digitalizzati, è importante che ne risulti agevole il reperimento. Quali criteri sono stati adottati a questo scopo?

Sappiamo bene che se mettessimo in un contenitore 40 milioni di immagini, non sarebbe semplice ritrovarle qualora non fossero ordinatamente catalogate, cioè connesse con una loro descrizione univoca. Bisogna garantire che il nome del file sia "parlante" e comprenda, oltre la segnatura (indicata in modo standard) almeno l'indicazione del volume e la foliazione o la paginazione. Tali indicazioni costituiscono la premessa per gestire sia l'ordinamento dei dati nello storage a lungo termine, sia la pubblicazione on-line delle immagini. Stiamo anche mettendo a punto le procedure per dotare l'oggetto digitale di un identificatore univoco e persistente, al fine di consentire l'interoperabilità dei dati e il riconoscimento degli oggetti digitali, la loro tracciabilità in un futuro Web semantico e anche, fino da oggi, per costituire biblioteche digitali condivise tra più istituzioni. ■ (g.p.j.)



## MIT Technology Review

GERMANIA

### Un'alba silenziosa e problematica

Poco dopo il successo dell'atterraggio e dello sbarco di Yutu, il primo rover lunare cinese, un serie di problemi meccanici ha cominciato a compromettere la missione di esplorazione.

Marcel Grzanna

**A** sei mesi dall'atterraggio del *lander* sulla Luna, il rover Yutu, che in italiano suona come "Coniglio di giada", continua a inviare segnali alla Terra. Dal momento in cui la missione era stata dichiarata un successo, però, le cose non sono andate proprio bene, anzi. Ad appena sei settimane dall'atterraggio del *lander*, infatti, una serie di problemi meccanici ha

colpito il rover, che ora è costretto ad attendere almeno altri tre mesi prima di tornare pienamente in funzione.

Il Coniglio di giada è il primo robot controllato via radio a sbarcare sulla Luna da quasi 40 anni, oltre a essere il primo prodotto dalla Cina. Per questo motivo, il lancio e la missione costituiscono un evento mediatico seguito in tutto il mondo.

Da Pechino, i capi della missione non hanno precisato i dettagli che hanno portato ai problemi del rover. Hanno ammesso però che la mobilità del mezzo è stata severamente compromessa in tempi più brevi del previsto, per cui la raccolta di dati risulta limitata. «Il cuore e il cervello funzionano, ma gambe e piedi non gli permettono di muoversi», ha detto un portavoce quando le difficoltà riscontrate con il mezzo erano ormai innegabili.

Gli esperti ritengono che i problemi di mobilità del rover possano dipendere dal deposito di polvere lunare sugli assi e sulle articolazioni del robot e dal freddo glaciale. Di conseguenza, non solo l'angolo di sterzata, ma anche la mobilità dei numerosi bracci, delle cinque videocamere e dei due pannelli solari sarebbe limitata. L'impossibilità di effettuare movimenti precisi ha vincolato persino la capacità di Yutu di eseguire importanti manovre, quali l'ottimizzazione dell'allineamento dei pannelli solari, indispensabile per ricaricare le batterie.

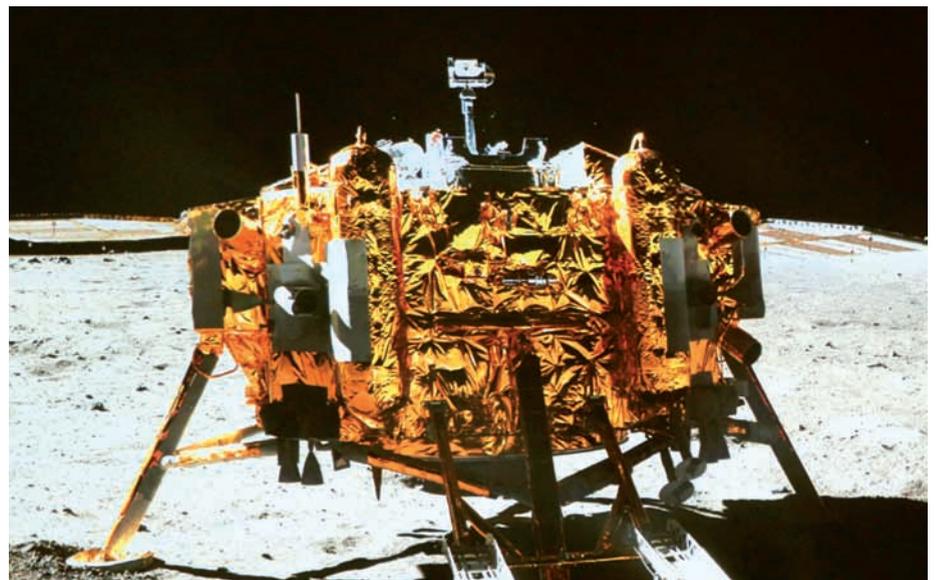
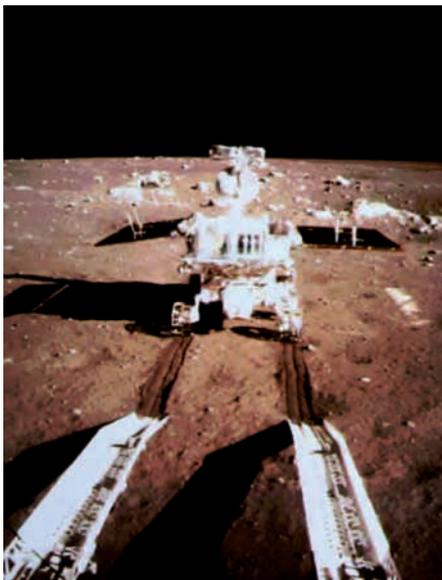
La tecnologia del Coniglio di giada è alquanto sofisticata: Nella sua prima notte lunare, lunga due settimane, il rover ha

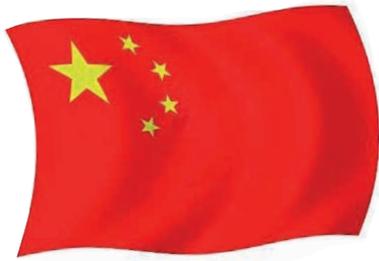
riposato per risparmiare energia. Tutti i dispositivi sono stati esclusi dal circuito di alimentazione e, mentre la temperatura esterna scendeva a  $-180^{\circ}\text{C}$ , uno dei due pannelli solari rimaneva in funzione per preservare le delicate telecamere da possibili danni da gelo. L'interno del veicolo è stato riscaldato a  $-50^{\circ}\text{C}$  da un impianto di riscaldamento che produce energia sfruttando il decadimento radioattivo.

All'inizio del giorno lunare, il rover avrebbe dovuto essere pronto a restare sveglio per due settimane. Invece, lo Yutu continua a tardare di diversi giorni il suo appuntamento con il Sole perché i suoi pannelli solari non possono venire orientati correttamente.

Ciò impedisce di ultimare per tempo i vari preparativi. «È sorprendente la rapidità con cui il rover è incappato in seri problemi», ha detto Jiao Weixin della Società Cinese di Ricerca dello Spazio al "South China Morning Post", alludendo in particolar modo al Mars Rover Spirit, che ha continuato a inviare segnali per sei anni dal suo sbarco e ha percorso oltre 7,7 km sul pianeta rosso.

Il Ministero ha rifiutato di esprimere specifiche valutazioni sulla missione. L'atterraggio lunare ha un grande valore politico per il paese e il partito comunista ha sfruttato pesantemente la missione come strumento di propaganda, per cui un fallimento prematuro potrebbe pregiudicare le ricadute d'immagine che se ne attendevano. ■





## MIT Technology Review

CINA

### La corsa spaziale alla crittografia quantistica

Europa e Cina stanno avendo la meglio nella corsa al rinvio di messaggi perfettamente sicuri dai satelliti in orbita bassa intorno alla Terra.

The Physics arXiv Blog

Uno dei grandi vantaggi della comunicazione quantistica sta nella possibilità d'inviare messaggi in totale sicurezza. Non è altrettanto favorevole il fatto che la cosiddetta crittografia quantistica sia limitata a distanze di circa 100 chilometri. Questo limite è dovuto al fatto che, sulle lunghe distanze, i fotoni tendono a venire assorbiti dal vetro nei cavi in fibra ottica e dall'atmosfera quando vengono inviati all'aperto. Si verificano così degli errori troppo grandi per garantire la privacy assoluta dei messaggi.

Esiste però una potenziale soluzione: l'invio dei fotoni a un satellite in orbita, che ritrasmette poi il messaggio quando passa sopra un altro punto del pianeta. Il processo è possibile perché i fotoni devono semplicemente attraversare poche decine di chilometri di atmosfera prima di arrivare allo spazio. Non è una sorpresa, quindi, che governi in tutto il mondo siano pronti a sfruttare la crittografia quantistica nello spazio. L'anno scorso un gruppo cinese aveva ricevuto con successo dei fotoni da un satellite in orbita, simulando così l'invio di fotoni da un satellite a terra.

Il gruppo cinese aveva sostenuto che la dimostrazione costituiva un momento cruciale per la crittografia quantistica spaziale.

Ciononostante, la capacità d'inviare fotoni singoli dall'orbita ricevendoli a terra non è sufficiente. Un elemento fondamentale sta nella percentuale di errore di questo processo. Se il tasso di errore supera l'11 per cento, la crittografia quantistica non funziona. Una domanda importante alla quale occorre trovare risposta in fretta è quindi se il tasso di errore è sufficientemente ridotto.

Oggi, una prima risposta ci arriva dal lavoro di Giuseppe Vallone dell'Università di Padova e di alcuni suoi colleghi. Il gruppo ha fatto rimbalzare alcuni fotoni polarizzati da diversi satelliti e misurato il tasso di errore nei fotoni che ritornavano a terra. I risultati sono stati positivi. Il tasso di errore può infatti essere tenuto al di sotto della soglia massima.

Un problema che affligge i ricercatori interessati a collaudare la crittografia quantistica nello spazio consiste nella mancanza di un veicolo spaziale capace di produrre fotoni coerenti in grado di trasportare le informazioni. I ricercatori devono infatti fare rimbalzare i fotoni sui satelliti concepiti per riflettere la luce verso la Terra. Questi satelliti vengono solitamente utilizzati per misurazioni geodetiche della forma della Terra monitorando i piccoli cambiamenti nella loro orbita. Per riuscirci, sono equipaggiati con specchi catarifrangenti ad angolo cubo per misurazioni laser dal suolo.

Per la crittografia quantistica, non basta riflettere un fotone. Occorre preservarne anche la polarizzazione. Questi catarifrangenti devono quindi disporre di rivestimenti metallici piuttosto che di riflettori privi di rivestimenti o dotati di rivestimenti dielettrici, che non conservano la polarizzazione.

Vallone e colleghi hanno scelto di usare quattro satelliti in orbita bassa attorno alla Terra che disponevano proprio di questi catarifrangenti ad angolo cubo: il Jason-2, il Larets, Stella e Starlette. Per un confronto, hanno persino utilizzato il satellite giapponese Ajisai, che monta catarifrangenti ad angolo cubo privi di rivestimento.

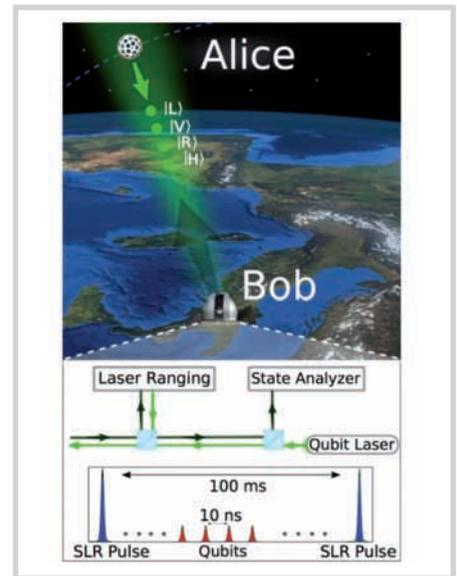
Il gruppo ha utilizzato le attrezzature del Matera Laser Ranging Observatory, nel Sud d'Italia, per fare rimbalzare fotoni polarizzati su ciascuno di questi satelliti e misurare quelli di ritorno, prestando una particolare attenzione al tasso di errore nel bit quantico. Il tasso di errore con il satellite Ajisai arrivava quasi al 50 per cento, un valore prevedibile su un dispositivo che

distrugge la polarizzazione delle informazioni. Al contrario, i tassi di errore degli altri satelliti si aggiravano intorno all'11 per cento: «Il tasso di errore nel bit quantico è stato riscontrato sufficientemente basso da dimostrare la fattibilità di protocolli d'informazione quantistica come la distribuzione per chiave quantistica attraverso un canale spaziale».

Si tratta di un utile passo in avanti nella corsa a canali di comunicazione sicura fra varie parti del pianeta. Quest'area di ricerca ha buone probabilità di progredire in fretta, visti gli ovvi vantaggi sui canali di comunicazione convenzionali. Non è una sorpresa, quindi, che i ricercatori cinesi ed europei siano tanto interessati a presidiare questo dominio.

L'anno scorso, i cinesi avevano annunciato l'intenzione di lanciare nel 2016 un satellite denominato Chinese Quantum Science Satellite e concepito appositamente per collaudare queste teorie. Gli scienziati europei hanno invece proposto un esperimento per le comunicazioni quantistiche che potrebbe essere inviato sulla Stazione Spaziale Internazionale.

I piani degli Stati Uniti sono molto più incerti. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che gli esperimenti vengono ancora condotti a porte chiuse. D'altra parte, gli Stati Uniti potrebbero anche essersi mobilitati in ritardo. La competenza degli Stati Uniti in questo campo potrebbe anche risultare pari a quella degli altri paesi, ma per il momento possiamo anche ipotizzare che gli altri arriveranno prima al traguardo. ■



# SE NON ORA QUANDO

Secondo gli esperti, potrebbero volerci decenni prima che le vetture automatiche possano affrontare affidabilmente la viabilità reale.

**Lee Gomes**

**D**opo aver colto il mondo e l'industria automobilistica di sorpresa con i suoi progressi nelle vetture automatiche, Google ha avviato le ultime e più ardue fasi del suo progetto di rendere le vetture abbastanza intelligenti da gestire direttamente il caos delle strade urbane.

Anche se l'azienda descrive il suo lavoro con il suo classico ottimismo riservato, gli esperti accademici di robotica rimangono perplessi di fronte alle prospettive di vedere presto delle vetture automatiche in giro per strada.

Secondo loro ci vorranno decenni prima che queste vetture possano guidare al pari degli esseri umani in tutte le situazioni, se mai sarà possibile.

Le auto di Google fanno un uso esteso di mappe dettagliate che descrivono non solo le strade e i loro vincoli, quale il limite di velocità, ma anche la posizione 3D di semafori e dossi con uno scarto di pochi centimetri.

Come ci ha spiegato Chris Urmson, direttore del progetto, l'azienda sta ora cercando di fare in modo che le sue vetture riescano a percepire e interpretare l'insieme di ostacoli imprevedibili che non compaiono su quelle mappe, ma sono particolarmente comuni nelle aree urbane.

«Ovviamente, il mondo non rimane sempre uguale», ha detto Urmson nel corso di una conferenza che ha raccolto i ricercatori e gli ingegneri delle Case automobilistiche che stanno lavorando alla guida automatica. «Occorre essere in grado di gestire situazioni come lavori in corso e costruzioni temporanee, per cui ci stiamo sforzando di comprendere la dimensione semantica del mondo».

Una vettura automatica, per esempio, dovrebbe essere in grado di riconoscere che un autobus della scuola è diverso da altre vetture di dimensioni simili e potrebbe comportarsi diversamente. Urmson ha mostrato il video di un prototipo di



Solo passeggeri, niente guidatori: un prototipo di auto, esposto al pubblico nel maggio di quest'anno da Google, è privo di volante e pedali.

un'automobile Google che naviga attraverso un cantiere segnalato da cartelli stradali lampeggianti e si ferma quando un operaio – in realtà un dipendente di Google – sventola una paletta dello stop.

La comprensione di pericoli simili da parte delle automobili è di cruciale importanza per Google, a seguito di un recente cambiamento nella direzione del progetto. I prototipi originali dell'azienda erano basati su vetture convenzionali e un passeggero umano poteva utilizzare sterzo e pedali per intervenire in caso di errore.

Nel mese di maggio, però, Google ha detto che gli umani non potevano essere ritenuti sufficientemente affidabili da restare sempre attenti su strada. Di conseguenza, è stato presentato un nuovo prototipo, privo di sterzo e pedali, e annunciato il cambio di direzione del progetto, che si sarebbe concentrato sulla realizzazione di vetture automatiche al 100 per cento, senza lasciare spazio agli errori umani.

Gli esperti accademici che hanno partecipato alla conferenza sostengono che, nel cercare di emulare la capacità degli esseri umani di dare un senso all'ambiente circostante, Google sta imbarcandosi in alcuni fra i problemi più ardui nei campi della robotica e della Intelligenza Artificiale.

Una guida sicura, del resto, dipende da molti più aspetti che non il semplice riuscire a evitare oggetti (persone o altre automobili), o l'essere in grado di riconoscere i cartelli stradali.

Come spiegarci da Alberto Broggi, dell'Università di Parma, gli esseri umani sfruttano miriadi di "indizi sociali", come l'interpretazione del comportamento di un altro conducente sulla base del marchio e del modello di automobile che guida.

Anche se un computer è in grado di riconoscere qualcosa, la comprensione del contesto che gli dà un significato è assai più ardua, spiega Broggi, che ha diretto molti dei progetti

finanziati dallo European Research Council per la guida automatica. Una vettura completamente automatica, per esempio, dovrebbe comprendere quando una persona che agita il braccio sul bordo della strada è un poliziotto che gestisce il traffico.

Secondo un sondaggio da parte degli organizzatori della conferenza, i 500 esperti che hanno partecipato non si sono dichiarati ottimisti sulla possibilità che questi problemi vengano risolti a breve.

Alla domanda: «Quando potremo affidare a una vettura automatica il compito di portare i nostri figli a scuola?», oltre la metà degli esperti ha risposto che dovremo aspettare almeno fino al 2030. Un quinto dei partecipanti ha risposto: «Non prima del 2040», e l'1 per cento ha risposto: «Mai».

Diversi esperti ci hanno detto che non ci sarebbe di che stupirsi se, per molti decenni le vetture automatiche, fossero limitate a percorsi specifici e ben controllati, quali tracciati chiusi e spazi universitari, con limiti di velocità bassi e un traffico minimo.

La grande parte delle Case automobilistiche sta investigando le vetture automatiche. L'anno scorso, Nissan ha destato un certo stupore prevedendo che riuscirà a vendere vetture automatiche entro il 2020. Poche settimane fa, però, Nissan ha

sfruttato la conferenza per correggere il tiro e affermare che entro la fine del decennio le vetture saranno in grado di gestire determinati compiti, come il parcheggio e la guida in autostrada. Pure vantandosi della propria tecnologia, Google non fa previsioni su quando, esattamente, potrebbero arrivare le prime vetture automatiche.

John Leonard, un esperto di guida automatica del MIT che ha partecipato alla conferenza, dice che lui e altri ricercatori si trovano sempre impegnati a combattere la convinzione che tutti i problemi tecnologici associati alle automobili robotizzate siano stati risolti e che siano rimasti soltanto i problemi legali e normativi: «È difficile spiegare al pubblico quanto sia difficile».

Leonard rimane fedele al commento che gli ha fatto guadagnare diverse critiche on-line sull'articolo *Automobili che si guidano da sole*, pubblicato l'anno scorso, in cui aveva detto di non aspettarsi di riuscire a vedere una vettura realmente automatica nel corso della sua vita. ■

*Lee Gomes è giornalista freelance, che collabora con "Forbes Magazine" e con "Wall Street Journal", oltre che con MIT Technology Review USA.*

## Viva la pigrizia!

Google ha escogitato un nuovo approccio al suo progetto di guida automatica perché i conducenti si sono fidati troppo dei suoi prototipi precedenti, esponendosi a rischi imprevedibili.

**Tom Simonite**

Il fatto che l'automobile automatica di Google che ricorda una bolla sia priva di volante potrebbe venire recepito come segnale che il software dell'azienda è prossimo a padroneggiare le sfide associate alla guida di un veicolo. Il design dell'automobile, però, è più una conseguenza di quanto la flotta esistente di SUV Lexus automatizzati dell'azienda ha rivelato della pigrizia umana.

Gli ingegneri di Google erano concentrati sul perfezionamento delle prestazioni delle vetture automatiche sulle autostrade e immaginavano che questa tecnologia potesse fare il suo ingresso nel mercato in modo tale da lasciare agli umani qualche mansione alla guida. «L'idea era che gli umani guidassero fino

all'inizio dell'autostrada, quindi attivassero il sistema per poi disattivarlo una volta percorso il grosso del viaggio, la parte più noiosa», ha detto Nathaniel Fairfield, un capo tecnico del progetto, nel corso dell'Embedded Vision Summit di Santa Clara, California.

Questo approccio è stato però scartato dopo che alcuni test hanno mostrato che i conducenti umani non erano sufficientemente affidabili nel ruolo di copilota del software Google. Quando le persone cominciarono a viaggiare a bordo di una vettura Google, prestavano molta attenzione a quello che la vettura faceva e a quanto succedeva intorno a loro, per cui il passaggio della guida dalla persona alla macchina avveniva senza intoppi.

Questo interessamento cominciava a venire meno mano a mano che le persone si abituavano a fare affidamento sulle capacità della vettura. «Gli umani sono pigri», dice Fairfield. «Le persone passano da uno stato di plausibile diffidenza a eccessiva fiducia».

Ciò ha convinto Google che avrebbe dovuto rinunciare al passaggio del controllo dall'uomo alla macchina, decidendo anche di scartare l'idea di proseguire con i design esistenti, incentrati sul conducente umano.

«Se l'automobile rileva un'anomalia nel servosterzo, lo esclude dal sistema e si affida al conducente», continua Fairfield. «Lo stesso vale per il servofreno, per cui in caso di avaria i freni saranno più fiacchi, ma sarà possibile comunque fermare la vettura». I test condotti da Google suggeriscono che chiunque si sia abituato alla guida automatica avrebbe difficoltà a riprendere il controllo in caso di avarie simili.

Così, il nuovo design di Google si ispira ad alcuni progetti della NASA per rispondere a simili eventualità. «Non sono

presenti sistemi che riportano il controllo al passeggero, ma solo sistemi ridondanti», precisa Fairfield. «Abbiamo previsto due motori di sterzo e abbiamo elaborato più di un sistema per portare all'arresto della vettura».

L'automobile è alimentata da un motore elettrico pressoché identico a quello montato dalla Fiat 500e e ha un'autonomia di circa 100 miglia. La velocità massima è limitata a 25 miglia orarie per ridurre la gravità delle ferite che potrebbero essere riportate da pedoni in caso di incidente. Il frontale della vettura è realizzato in materiale plastico al fine di ammortizzare qualunque impatto. Google realizzerà una flotta di 100 vetture da utilizzare nei suoi test durante l'estate. Ciononostante, le leggi in vigore impongono che solo versioni con controlli convenzionali aggiuntivi possano venire collaudate sulle strade pubbliche.

Fairfield precisa che la decisione di realizzare una vettura interamente automatica ha il merito di allineare Google al progetto di qualcosa che potesse "guidare ovunque per chiunque". Questa filosofia

distingue l'approccio di Google alle vetture automatiche da quelli delle Case automobilistiche convenzionali, che mirano a lasciare all'uomo il controllo decisivo della vettura.

Ciononostante, per Google sarà così più arduo arrivare a un prodotto commerciale. L'azienda aveva deciso in precedenza di concentrarsi sulla guida automatica in autostrada perché si trattava di una funzione relativamente semplice da sviluppare. La nuova vettura dovrà invece superare ostacoli molto più complessi sui percorsi urbani pieni di pedoni. ■

*Tom Simonite è redattore dell'area di software e hardware di MIT Technology Review USA.*

Il nuovo design dell'automobile di Google non prevede il volante e gli altri controlli convenzionali.

Sotto: l'automobile di Google procede attraverso alcuni lavori stradali. Si noti che ha rilevato i coni, il segnale di lavori in corso, e il limite di velocità di 35 mph.



## Meta System verso soluzioni sempre più efficienti

L'azienda emiliana collabora con BMW per la ricerca, lo sviluppo, la produzione di componenti destinate ai modelli elettrici.

Matteo Ovi



«**E**rano tanti anni che avevamo un rapporto stretto con BMW per la nostra elettronica applicata all'Automotive. Avevamo realizzato, e continuiamo a farlo, un'ampia gamma di prodotti per la linea accessori BMW e Mini. Fino a poco tempo fa il nostro rapporto si limitava a impianti *safety e security*, anche se vantavamo già una certa competenza nelle unità di potenza delle vetture elettriche. Poi è arrivata l'occasione di una nuova sfida progettuale, un passo avanti tecnologico, quando abbiamo ricevuto una Richiesta di Informazioni per il sistema di alimentazione della batteria del nuovo modello di auto elettrica BMW, la i3 plug-in ibrida», ci dice Giuseppe Simonazzi, Chairman e Managing Director di Meta System, la società di Reggio Emilia che dal 1973 produce componenti elettronici dedicati al mercato automobilistico e motociclistico. Una società che vanta un ampio patrimonio di brevetti, dall'analogico al digitale, con progetti che l'hanno portata a sviluppare sistemi ad alta frequenza, fibre ottiche, firmware, software, *power modules* per antifurto, controlli della distanza di parcheggio, fino al vivavoce Bluetooth.

### In che cosa consiste questa novità?

La novità consiste nelle specifiche del sistema di carica delle batterie dell'i3, che deve trasferire il più rapidamente possibile energia (quindi operare ad alti livelli di potenza) prelevandola dai diversi sistemi in uso nel mondo, che vanno dai 220V e 50 Hz europei ai 110V e 60 HZ americani. Anche per BMW fare un'auto "plug-in ibrida" come la i3 voleva dire addentrarsi in un mondo nuovo. Abbiamo avuto un intenso scambio di idee e, quando è arrivata la richiesta per la quotazione, eravamo pronti. Una volta rispettati i punti richiesti dalla Casa bavarese, i tecnici di Meta System hanno avuto modo di collaborare più attivamente con proposte e idee innovative nelle fasi successive fino alla Richiesta per Quota-

zione. Come risultato, lo scooter elettrico e la i3 di BMW montano un sistema combinato composto da due alimentatori, di cui uno sviluppato interamente da Meta System e l'altro da BMW. Il sistema ha una potenza combinata di 3.5 KW e l'azienda sta già lavorando alla prossima versione da 7KW.

### Specifiche difficili da rispettare?

Le dimensioni e il peso erano particolarmente avanzati e ambiziosi, ma siamo riusciti a sviluppare un sistema compatto con un rendimento superiore al 95 per cento e il sistema è validato per 1.500 cicli, corrispondenti all'incirca a 15 anni di vita. La sorpresa più interessante è arrivata dopo, quando, con variazioni successive, la domanda è salita per il primo anno da 3mila a 10mila pezzi. Alla BMW, evidentemente, credono nel successo della i3, che viene ora lanciata negli Stati Uniti. Abbiamo lavorato per portare più funzioni possibili su un solo chip con i più forti produttori di SOC (System on Chip) del mondo, ST e Texas Instruments, pur cercando, per tenere bassi i costi in questa fase, di usare il più possibile componenti a catalogo.

### Questi nuovi orizzonti cambieranno il vostro modo di lavorare?

Avete presente l'eccellenza italiana, quella dote comune fra artigiani e piccole imprese che permette loro di tramutare un'idea in un prodotto innovativo? Ecco, noi abbiamo maturato un certo talento in questa fase della innovazione di processo. Negli anni scorsi l'azienda ha esplorato settori e mercati diversi, fino a prendere decisioni importanti quali gli investimenti in mercati asiatici e in nuovi uffici. Talvolta si trattava di decisioni in controtendenza rispetto ai tempi, ma erano sempre mirate a incrementare la nostra portata. Gli investimenti in impianti e sedi fra il 2005 e il 2008, quando in tanti avevano frenato, ne sono un esempio, che culmina con l'apertura di una

sede a Shenzhen nel 2008 con 90 dipendenti impegnati nell'esplorazione di nuove potenzialità di investimento. La crisi del 2003 ci è passata vicino, ma grazie alla nostra costante innovazione non possiamo dire di averla vissuta veramente. Con la crisi del 2009, invece, abbiamo assistito a un severo spostamento del baricentro della produzione verso l'Asia. Gli anni ci hanno insegnato molto, ma ci mancano ancora le dimensioni per affrontare il mondo. Eppure, alcuni prodotti dell'azienda sono risultati talmente innovativi e validi da eccedere di gran lunga le aspettative di vendita. L'esempio più promettente per il futuro prossimo è proprio il caso BMW, che è il motivo per cui parliamo oggi di Meta System. Da sempre collaboriamo con le più importanti Case automobilistiche e motociclistiche a livello mondiale, un settore dove è necessaria una elevatissima produttività, per cui abbiamo automatizzato quasi tutta la catena produttiva dagli acquisti ai magazzini. Ciò ha permesso a Meta System di rispettare l'impennata degli ordini da parte di BMW.

### Quali sono le prossime aspettative di crescita, anche occupazionale?

Considerando le vendite di vetture elettriche in versioni sempre più performanti - 35KWh entro il 2016 e 50KWh entro il 2019 - non si può non riflettere su quanti posti di lavoro avrebbero potuto crearsi se l'avvento della tecnologia digitale non avesse impedito di lavorare "alla vecchia maniera". Quanti dipendenti abbiamo oggi? 1.350. Quanti ne avremmo senza l'apporto del digitale e dell'automazione? Più di 22.000. Ma queste sono considerazioni difficili, perché è certo meglio sopravvivere e svilupparsi con 1.350 dipendenti, che morire con 22.000! ■

Matteo Ovi collabora con traduzioni e note informative a MIT Technology Review Italia.

## L'unione fa la forza... del grafene

Un accordo tra Directa Plus e IIT consentirà la sperimentazione della tecnologia di produzione industriale di grafene.

L'accordo tra Directa Plus, la prima società tecnologica italiana ad avere sviluppato un processo innovativo brevettato e approvato per la produzione industriale di grafene, e l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) ha come obiettivo quello di trasferire in prodotti industriali impiegati su larga scala l'innovazione rappresentata dal grafene, garantendo la produzione del materiale in grandi quantitativi e a prezzi competitivi. La produzione e lo sviluppo di prodotti a base di grafene sono al centro dell'attività dei Graphene Labs dell'Istituto Italiano di Tecnologia. L'esperienza scientifica dei ricercatori IIT sarà fondamentale per l'ottimizzazione del materiale prodotto da Directa Plus e per la sua applicazione nella realizzazione di batterie a litio e di altri materiali compositi.

«La nostra Società si appresta a inaugurare il più grande impianto europeo di produzione industriale di fogli di grafene altamente puro», ha dichiarato Giulio Cesareo, presidente e CEO di Directa Plus. «Grazie al progettato laboratorio congiunto potremo testare ulteriormente la nostra tecnologia esclusiva in campi applicativi dalle enormi potenzialità».

«La collaborazione con le aziende è fondamentale per indirizzare la ricerca sul grafene verso applicazioni direttamente trasferibili sul mercato», ha aggiunto Vittorio Pellegrini, direttore dei Graphene Labs dell'IIT. «Uno dei problemi fondamentali è legato al necessario aumento della produzione di grafene per applicarlo in una filiera industriale».

Il mercato globale legato alle applicazioni di grafene è in forte espansione. Solo nel 2012 sono stati depositati più di 3.000 brevetti e la richiesta mondiale di grafene, oggi stimata in 150-200 tonnellate l'anno, si prevede che crescerà a oltre mille tonnellate per il 2020. ■

## Dalla ricerca al mercato

STMicroelectronics, leader globale nei semiconduttori con clienti in tutti i settori applicativi dell'elettronica, e l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) hanno annunciato la firma di un nuovo accordo.

L'accordo, che conferma la lunga collaborazione in diversi ambiti di ricerca come robotica, neuroscienze, energia e ambiente, salute e sicurezza, avrà inizialmente una durata triennale e si baserà su una serie di programmi congiunti di ricerca per mettere a frutto le sinergie tra l'esperienza di alto livello dell'IIT sui mega-trend di lungo periodo (come robotica, nanotecnologie, *pattern analysis*, *computer vision*) e il know-how avanzatissimo di ST nel progetto e nella tecnologia dei semiconduttori.

«ST è sempre stata consapevole del valore che deriva dalla combinazione delle nostre attività di R&S, a orientamento commerciale, con il lavoro di più lungo periodo portato avanti dagli istituti di ricerca e dalle università», ha affermato Nunzio Abbate, direttore generale del System Lab & Subsystem Product Group, STMicroelectronics. «Il rafforzamento di questa collaborazione con IIT porterà vantaggi che potranno venire trasferiti ai nostri clienti e ai loro progetti, in un ampio spettro di applicazioni dei semiconduttori».

«La tecnologia dei semiconduttori gioca un ruolo fondamentale nel trasformare le innovazioni e le scoperte dei nostri laboratori in prodotti concreti, capaci di offrire benefici e vantaggi al mercato», ha ribadito Salvatore Majorana, direttore del trasferimento tecnologico di IIT. «ST ha una storia di successi che non teme confronti nel tradurre attività di ricerca in prodotti innovativi. Siamo certi che questa attività comune aiuterà entrambe le parti ad affrontare temi chiave come un impiego più intelligente dell'energia, l'aumento della produttività manifatturiera, la salute e il benessere fisico».

Il primo programma congiunto di ricerca tra le parti è nel settore della robotica, un ambito in cui IIT e ST hanno già una storia di cooperazione proficua. Questi successi sono stati dimostrati congiuntamente durante il recente InnoRobo Event 2014 a Lione, in Francia, dove i due partner hanno presentato un robot umanoide iCub che sfrutta la tecnologia al silicio di ST.

La versione più recente del noto robot umanoide iCub è alimentata da più di 20 microcontrollori STM32 F4 con sistemi cSPIN/dSPIN per il pilotaggio di motori, mentre accelerometri e giroscopi MEMS di ST forniscono al robot la capacità di orientamento nello spazio. Il robot è stato concepito come progetto open-source in modo da stabilire una piattaforma comune per la comunità scientifica globale. Così i ricercatori possono sviluppare tecnologie per l'*embodied machine learning*, l'intelligenza artificiale, il controllo motorio, la manipolazione, la deambulazione, e le centinaia di comportamenti propri di un robot umanoide.

Più di 25 robot iCub realizzati da IIT sono già stati venduti a istituti di ricerca in tutto il mondo. ■



## Stai attento! Fai la differenza

Per difendersi dai malintenzionati a bordo e in stazione arriva la nuova campagna informativa di FS Italiane e Polizia Ferroviaria.

**Claudia Frattini**

**M**assima sicurezza a tutela dei viaggiatori e prevenzione dei fenomeni illeciti a bordo treno e in stazione. È questo l'impegno del Gruppo FS Italiane, in collaborazione con la Polizia Ferroviaria, per aiutare a riconoscere, e quindi a prevenire, gli stratagemmi utilizzati dai malintenzionati per portare a segno furti e truffe. Approfittando, il più delle volte, dei momenti di massimo affollamento e della disattenzione di viaggiatori italiani e turisti stranieri.

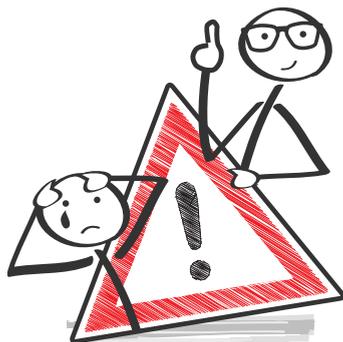
Nasce così "Stai attento! Fai la differenza", la nuova campagna informativa di FS Italiane e Polizia Ferroviaria che si aggiun-

ge ai costanti controlli da parte del personale ferroviario e ai tempestivi interventi in situazioni di emergenza. Una iniziativa che ha scelto semplicità dei contenuti e chiarezza dei messaggi, attraverso uno stile cartellonistico di immediata efficacia: «È un ulteriore aiuto che vogliamo dare ai nostri clienti», spiega Franco Fiumara, direttore centrale della Protezione Aziendale di FS, «per far sì che possano viaggiare sempre sicuri, protetti e consapevoli. Per questo forniamo loro più informazioni sui comportamenti tipici dei malintenzionati».

A questo scopo è stata pensata una specifica cartellonistica insieme a un lea-

flet dalla grafica immediata e di facile comprensione (in 8 lingue), contenente preziosi consigli per evitare di diventare vittime di ladri e truffatori. Perché adottare comportamenti preventivi è l'unica valida arma contro i fenomeni illeciti: «L'obiettivo è arrivare a una forma di collaborazione attiva da parte dei clienti», precisa Claudio Caroselli, direttore del Servizio di Polizia Ferroviaria, «in modo che siano consapevoli dei veri scopi per cui determinate persone li avvicinano, e le invitino ad allontanarsi, chiedendo l'intervento delle nostre pattuglie».

Fare la differenza si può, tenendo sempre gli occhi aperti nei luoghi più affollati, come atri, biglietterie, binari di arrivo e partenza treni; prestando attenzione alle operazioni di acquisto alle emittitrici self service e ai venditori abusivi di generi alimentari e servizi. E poi, ticket di viaggio e bagaglio sempre alla mano, con lo sguardo rivolto, anche a bordo, alla valigia e agli oggetti personali di valore. ■



**STAI ATTENTO!**  
*Fai la differenza*

### FURTO IN STAZIONE



Presta attenzione nei classici luoghi di "lavoro" dei borseggiatori (atrii, biglietterie, aree Self Service, piattaforme di arrivo/partenza treni). Preferiscono i luoghi affollati.



Attenzione mentre stai operando presso le Self Service. Prepara prima il denaro che può servirti per l'acquisto, lontano da occhi indiscreti.



Fai attenzione alle richieste di denaro da parte di estranei, potrebbero distrarti per consentire al complice di sottrarti il bagaglio.



Tieni sempre d'occhio il tuo bagaglio.

### FURTO A BORDO TRENO



Presta attenzione agli oggetti di valore anche se li conservi all'interno della giacca appesa al tuo fianco.



Non lasciare nulla di valore sul tavolino mentre posizioni il bagaglio sulla cappelliera.



Anche a bordo treno, tieni d'occhio il tuo bagaglio soprattutto durante le fermate.

### RAGGIO



No ticket? No parti! Viaggiare con il biglietto è un obbligo. Acquisti il biglietto per viaggiare e non perché qualcuno potrebbe procedere a un controllo.



Non acquistare servizi da persone prive di regolare licenza. Non affidare il bagaglio ad altri.



Non acquistare generi alimentari da venditori abusivi, potrebbe essere a rischio la tua salute.

# PICCOLI E SPESSO INVISIBILI

Miliardi di piccoli e spesso invisibili computer sono in grado di rilevare dati e trasmetterli on line dai luoghi più disparati. Che impatto avranno sulle attività commerciali?

**Antonio Regalado**

**L'**industria tecnologica si sta organizzando in previsione dell'avvento dell'Internet delle cose, ovvero l'estensione della rete a piccoli e spesso invisibili computer, limitati nelle funzioni e inseriti negli oggetti. Questi dispositivi rilevano e trasmettono dati sull'ambiente o offrono nuovi sistemi di controllo.

Da oltre un decennio, gli esperti di tecnologie hanno previsto l'assalto di questi congegni onnipresenti. «Ci sono parecchi dubbi su come chiamarli, ma è assolutamente chiaro che ci troviamo dinanzi all'affermarsi di una nuova classe di computer», dice David Blaauw, responsabile del laboratorio dell'University of Michigan, che produce computer non più grandi di una lettera scritta.

Una caratteristica fondamentale sono i trasmettitori a basso costo, incisi nel silicio. Se ne trova uno in qualsiasi smartphone. I prezzi stanno crollando sotto i 5 dollari. Quando scenderanno ancora, sarà possibile estenderne l'utilizzo e collegare oggetti più complessi, come collettori delle fognature o cassonetti della spazzatura. All'University of California, a Berkeley, i ricercatori stanno lavorando a dei computer, grandi come la capocchia di uno spillo, per raccogliere dati all'interno del cervello. L'idea è quella di collegare anche i corpi umani alla rete.

Questi discorsi potrebbero suonare del tutto inverosimili. Chi ha realmente bisogno di una caffettiera o di un frigorifero con un browser Web? Molte delle invenzioni sembrano senza senso. Su Amazon, è stato venduto a 78 dollari un portauova digitale che comunica a uno smartphone quale uovo si trova da più tempo nel frigorifero. Ma per ogni applicazione di scarsa utilità, c'è un'altra combinazione di sensori che si è rivelata vincente. Dal 2007, per esempio, ogni nuova automobile negli Stati Uniti ha un chip che misura la pressione degli pneumatici. Il fenomeno è in costante ascesa. In media le nuove automobili possiedono 60 microprocessori al loro interno, secondo il Center for Automotive Research. L'elettronica copre il 40 per cento dei costi di produzione di una autovettura.

L'Internet delle cose è particolarmente importante per le aziende che vendono apparecchiature di rete, come Cisco Systems, secondo cui, con una discreta dose di ottimismo, 50 miliardi di "oggetti" potranno venire connessi alle reti comunicative entro sei anni, in aggiunta ai 10 miliardi attuali di cellulari e PC. L'industria dei semiconduttori, un settore da 300 miliardi di dollari, potrebbe a sua volta trarne vantaggio.

Come fa notare Blaauw, «ogni volta che è emersa una nuova tipologia di computer, il giro d'affari della tecnologia emergente è stato sempre superiore a quello precedente. Se questa tendenza si confermerà, l'Internet delle cose avrà molti margini di crescita». Ma ogni cambiamento porta con sé anche delle sofferenze. Grandi aziende come Intel sono già in affanno per il rapido successo degli smartphone. Intel, con i suoi chip potenti ad alti consumi di energia, è rimasta esclusa dal settore della telefonia, allo stesso modo di Microsoft. Ora entrambe le aziende, e molte altre, stanno cercando di trovare una combinazione vincente di software, interfacce e processori per qualsiasi prodotto si affermerà in futuro.

Ma non sono solo le aziende tecnologiche a doversi preoccupare. La ragione, spiega Marshall Van Alstyne, docente alla Boston University, è che quando gli oggetti quotidiani saranno connessi alla rete, i loro produttori potranno sfruttare dati commerciali esclusivi. Produrre scarpe è diverso dal produrre scarpe che comunicano.

Le informazioni ottenute potrebbero diventare la base per offrire nuovi servizi. «Si potrebbe scoprire che i dati hanno più valore delle scarpe», sostiene Van Alstyne.

Quali prospettive, dunque, si aprono alle aziende con lo sviluppo dell'Internet delle cose? Un buon esempio è costituito da Nest Labs, un'azienda produttrice di termostati intelligenti che dialogano con smartphone, smartwatch e altri elettrodomestici. Nest è stata acquistata da Google quest'anno e ha sbaragliato la concorrenza degli altri produttori di termostati. Ora la sua rete di termostati controllati a distanza sta cominciando a offrire servizi alle aziende elettriche. Nei giorni afosi, l'azienda è in grado di regolare selettivamente i condizionatori d'aria, gestendo con intelligenza la domanda.

I contatti di Nest con le utilities sono ancora limitati, ma in futuro i suoi servizi potrebbero incidere sul mercato dell'energia. Non c'è quindi da meravigliarsi se quest'anno, nella sua lettera annuale agli azionisti, Jeff Immelt, CEO di General Electric, ha detto che «ogni azienda industriale dovrà essere un'azienda di software».

Gordon Bell, ricercatore di Microsoft e pioniere della prima onda informatica, crede che nessuno sia in grado di prevedere quale sviluppo avranno i computer con l'avvento dell'Internet delle cose. Ma non se ne sorprende affatto. Il ruolo svolto da PC e smartphone divenne chiaro solo dopo averli visti all'opera. «L'Internet delle cose è un modo per dire che una grande fetta del mondo entrerà a fare parte della rete», spiega Bell. «Questo è quanto sta accadendo. Stiamo assimilando il mondo nei computer. Computer, sempre più computer». ■

*Antonio Regalado è responsabile dell'area business di MIT Technology Review USA.*

# L'economia delle piattaforme

La crescita costante del numero di oggetti connessi crea effetti di rete ancora non del tutto prevedibili, neppure da parte di esperti come Marshall Van Alstyne.

**Antonio Regalado**

**L**e aziende manifatturiere si fanno concorrenza con impianti sempre più grandi per abbassare i costi dei prodotti. Ma con la comunicazione tra oggetti si viene a creare una prospettiva economica decisamente diversa, chiamata effetto di rete: vale a dire che ogni nuovo consumatore del prodotto aggiunge valore. Si pensi, per esempio, al telefono un secolo fa. Aumentando il numero di utenti che utilizza l'invenzione di Bell, più nessuno ha potuto farne a meno. Il telefono è diventato una piattaforma per una serie infinita di nuovi commerci che i suoi inventori non avevano assolutamente previsto. Oggi che sempre più oggetti si collegano alla rete – luci stradali, turbine eoliche, automobili – si apre la possibilità di aprire nuove piattaforme. È questa la ragione per cui alcune aziende si rivolgono a Marshall Van Alstyne, professore di economia aziendale alla Boston University, che è un esperto di reti sociali e spam delle e-mail. Attualmente, Van Alstyne si occupa di “economia delle piattaforme”, cioè del perché aziende come Uber, Apple e Amazon hanno tanto successo e di cosa possono fare le aziende manifatturiere tradizionali per emularle. Lo abbiamo incontrato nel suo ufficio a Boston.

## Da cosa si distingue una piattaforma aziendale?

Quando si produce un valore, allora si parla di un'azienda classica. Ma ci sono nuovi sistemi in cui il valore emerge al di fuori dell'azienda; in questo caso ci troviamo dinanzi a una piattaforma aziendale. Nel suo app store, Apple prende una commissione del 30 per cento sulle applicazioni di altri innovatori. Definirei una piattaforma come uno standard pubblico a cui ci si può connettere, unito a un modello

di governance che stabilisce chi prende cosa. Le piattaforme aziendali sono spesso predisposte per organizzare incontri: tra passeggeri e autisti nel caso di Uber, tra persone alla ricerca di un alloggio e chi affitta con Airbnb.

## Lo sviluppo delle connessioni tra oggetti ordinari, come i tostapane, e Internet sta facendo da volano alle nuove piattaforme?

Senza dubbio. Non c'è modo di porre un freno alla connettività. L'errore di chi si occupa di tecnologie è di fermarsi spesso agli standard, ai collegamenti. È altrettanto importante motivare gli utenti ad aggiungere valore. Ciò significa la possibilità di ricombinare le caratteristiche in modi che non possono venire previsti da chi ha ideato il sistema. Gli utenti hanno associato le funzioni dell'iPhone a centinaia di migliaia di applicazioni a cui Apple non avrebbe mai pensato. Per questa ragione l'Internet delle cose migliora i prodotti progettati per tenere conto dei contributi esterni.

## Può farci un esempio di quanto sta dicendo?

Ho da poco parlato con i dirigenti di Philips Lighting. L'azienda ha aggiunto una serie di API alle sue luci LED, tali che chiunque può creare milioni di colori, atmosfere romantiche o riproporre le tonalità del tramonto preferito. Si può cambiare l'illuminazione dell'ufficio a seconda, per esempio, dell'andamento della Borsa. Questa è l'Internet delle cose e l'azienda offre a tutti l'opportunità di proporre qualcosa.

## Le aziende manifatturiere classiche sono in grado di affrontare questo tipo di cambiamento?

Il loro problema principale è legato ai modelli mentali. È un meccanismo sorprendente. La grande parte delle aziende si fa concorrenza aggiungendo di volta in volta nuove caratteristiche al prodotto. Il loro pensiero non è rivolto a come raggiungere nuove comunità o sfruttare effetti di rete. Sono dell'idea che i modelli di piattaforma aziendale replichino i meccanismi del gioco degli scacchi in 3D.

## Secondo i suoi calcoli, metà delle 20 aziende più importanti al mondo, come Google, possiedono piattaforme. Perché questa formula è vincente?

Ci sono serie ragioni per cui la logica delle piattaforme risulta superiore a quella aziendale classica. Si pensi a come l'iPhone abbia assorbito le caratteristiche dei sistemi di registrazione vocale, di calcolo e di gioco. Il motivo è che i prodotti non collegati alla rete hanno un certo ritmo innovativo, mentre, se si è aperti ai contributi esterni e si sono delineate con attenzione le regole dell'ecosistema, la curva dell'innovazione si muove molto più rapidamente. A mio modo di vedere, ciò significa che ci sono enormi potenzialità per sottrarre quote di mercato alle attuali aziende o, per chi già c'è, di espandersi aprendosi alla logica della collaborazione in rete.

## Quali sono le aree più promettenti per le piattaforme?

Dove la connettività si è già affermata: città, assistenza sanitaria, settore educativo, reti elettriche.

## E le sfide più importanti?

In molti casi, i modelli di governance non sono ancora stati stabiliti. Per esempio, la densità di popolazione si può determinare dalla distribuzione di telefoni mobili. Un'azienda telefonica possiede questi dati. Come fare a convincerla a condividerli? Tutti questi sensori catturano dati, ma come dispiegarne il valore? Queste sono le regole da definire, il pezzo mancante della discussione sull'Internet delle cose. Non basta la connettività, ma ci vuole intorno tutto un sistema di incentivi economici. ■



Immagine: Stuart Bradford

## A spasso con i sensori

Con la crescita costante dell'affidabilità e della qualità dei congegni indossabili, gli utenti si serviranno sempre più di queste tecnologie per organizzare le loro vite.

Rachel Metz

L'Internet delle cose evoca in genere immagini di lampadine intelligenti e di serrature automatiche. Ma anche gli orologi intelligenti, gli apparecchi per monitorare l'attività fisica e i computer indossabili che stanno invadendo il mercato stanno diventando parte dell'Internet delle cose.

Lentamente, ma inesorabilmente, una serie di apparecchi indossabili – in particolare i contapassi high-tech di Fitbit e Jawbone – stanno affermandosi tra i consumatori; molti ricercatori e aziende sono dell'idea che i computer indossabili diventeranno una "seconda natura", rilevando, registrando e trasmettendo i nostri dati corporei alle reti e viceversa.

In generale, il fascino degli apparecchi indossabili è ancora limitato. Alcuni, come i Google Glass, suscitano risposte ambivalenti. IDC stima che il prossimo anno i produttori venderanno 19 milioni di orologi, bracciali e altri apparecchi indossabili: un'inezia rispetto al miliardo e oltre di smartphone smerciati nel 2013.

Il settore delle tecnologie indossabili sta ancora cercando l'applicazione vincente. Alcuni ritengono che l'Internet delle cose permetterà di cogliere l'occasione giusta. Se realmente le nostre case si riempiranno di oggetti intelligenti come le serrature, un orologio o un braccialetto possono rappresentare il sistema più conveniente per controllarli o per comunicare le nostre esigenze.

«La vostra automobile dovrebbe sapere se siete stanchi perché non avete dormito bene, così potrebbe fare il possibile per mantenervi svegli», dice Hosain Rahman, CEO di Jawbone, un'azienda più che

decennale che produce cuffie, altoparlanti e bracciali per il monitoraggio dell'attività fisica. «Credo che in futuro questi congegni indossabili eserciteranno il controllo su quanto abbiamo intorno».

Jawbone è la prima azienda a provare a trasformare un apparecchio indossabile in un sistema di controllo remoto. Up24, il bracciale in silicone di Jawbone, può attivare il servizio Web IFTTT (If This, Then That) utilizzando la frequenza radio Bluetooth a bassa energia per condividere i dati dell'utente con un'applicazione sul suo smartphone. Per ora, si limita solo alle funzioni più semplici. Se si ha un impianto di riscaldamento connesso a Internet, il bracciale gli può comunicare di accendersi quando ci si alza la mattina. La prospettiva di fondo è quella di un ambiente che interagisce con l'utente.

Siamo ancora in una fase iniziale di sviluppo. Molte aziende hanno difficoltà a convincere i loro clienti a indossare un computer. Un altro problema è la potenza. Con i Google Glass, per esempio, dopo qualche ora è necessario effettuare la ricarica. Il consumo di energia è quasi sempre legato al chip wireless che permette a questi apparecchi di comunicare. Per questa ragione MC10, una start-up che produce

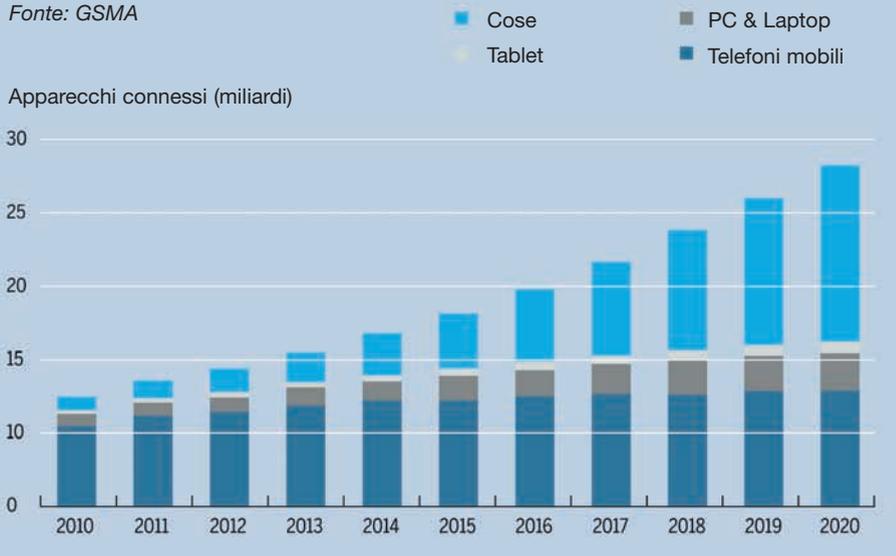
dispositivi elettronici estendibili, sta sperimentando «qualsiasi nuova forma di fonte energetica», afferma il cofondatore Ben Schlatta. Una possibilità è legata a Enhants, un progetto della Columbia University. I ricercatori stanno lavorando a delle etichette piccole e flessibili che raccolgono energia dalla luce o quando vengono mosse. In una ricerca di prossima pubblicazione, vengono descritti i risultati relativi a 40 persone che camminavano, correvano o stavano rilassati con sensori piatti attaccati a diverse parti del corpo. I sensori sono riusciti a raccogliere abbastanza energia da trasmettere i dati con continuità a una velocità di un kilobit per secondo. Non è molto, ma sufficiente per applicazioni semplici come l'autenticazione del nome utente o la lettura delle temperature locali. Uno dei ricercatori di Enhants, Peter Kinget, professore di elettrotecnica alla Columbia University, sostiene che il sistema può raccogliere l'energia necessaria per collegare un sensore sul corpo dell'utente a uno smartphone, in qualsiasi situazione ci si trovi. ■

Rachel Metz è redattrice di MIT Technology Review USA per il Web e i social media.

### I computer vanno on line

Il numero di oggetti d'uso quotidiano, o "cose", connessi a Internet è ormai superiore a quello di PC e smartphone.

Fonte: GSMA



## Una filosofia dell'essere per fare

Una recente collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale (DIAG) di Sapienza Università di Roma, Sogei e Dipartimento del Tesoro del Ministero dell'Economia e delle Finanze ha portato alla stesura di un originale progetto di gestione dei sistemi informativi pubblici e privati.

**Renzo Pieroni**

Il progetto in questione (*Ontology-based Data Management for the Italian Public Debt*, OBDM-IPD) prende il nome, oltre che da un aspetto particolarmente critico del sistema economico italiano, dalle cosiddette "ontologie", un termine che la scienza informatica ha mutuato dalla filosofia antica per definire la ricerca della essenza dei problemi interpretativi e operativi dei sistemi complessi. Si tratta, in altre parole, di quel nucleo di linguaggi formali ideati per descrivere in modo preciso e strutturato i domini applicativi in cui operano i sistemi informatici.

Il gruppo di lavoro, coordinato da Francesco Castanò e formato da esperti del debito pubblico (Natalia Antonioli, Stefano Grossi e Patrizia Castracane), esperti della modellazione concettuale delle applicazioni (Spartaco Coletta e Emanuela Virardi), esperti della rappresentazione della conoscenza e dell'integrazione dei dati mediante ontologie (Maurizio Lenzerini, Domenico Lembo e Antonella Poggi), ha messo a punto un contributo scientifico tanto importante, quanto apprezzato anche all'estero. Il lavoro è consistito nel definire la rappresentazione ontologica di un dominio di grande rilevanza nel panorama politico ed economico del nostro paese: quello del debito pubblico. Il progetto include la descrizione formale della composizione del debito e la classificazione degli strumenti finanziari utilizzati dal Governo e dalla Pubblica Amministrazione governativa per gestirlo.

Per le competenze e gli eccellenti risultati dimostrati, OBDM-IPD parteciperà alla fase finale della FOIS 2014, l'International Conference on Formal Ontology in Information Systems, che si terrà a Rio de Janeiro dal 22 al 25 settembre. Durante questo evento, che nel corso degli anni è diventato un appuntamento scientifico di rilevanza internazionale, gli autori renderanno pubblici i loro metodi e i loro criteri applicativi, sotto-

ponendoli a una valutazione internazionale, con auspicabili conseguenze promozionali.

Ma scendiamo più nel dettaglio del progetto stesso e delle sue logiche interne. In ogni organizzazione complessa un ruolo fondamentale è svolto dal sistema informativo, inteso come quella parte del sistema complessivo destinata alla gestione dei dati e dei processi rilevanti nell'organizzazione. Tuttavia, anche se progettati inizialmente con cura, per l'uso e le modifiche imposte dai cambiamenti organizzativi e gestionali i sistemi informativi tendono spesso a degenerare in strutture complesse, farraginose, di dubbia coerenza e difficile interpretazione.

L'approccio definito dal gruppo di ricerca di Maurizio Lenzerini, docente di Computer Science nella Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, Informatica e Statistica della Sapienza Università di Roma, parte dalla considerazione che la semantica dei dati inclusi in questi sistemi informativi è spesso nascosta nelle procedure che utilizzano tali dati e nei meccanismi tecnici della loro gestione; ciò pregiudica la possibilità di un impiego efficiente e trasparente delle risorse tecnologiche (dati e programmi) del sistema, soprattutto rispetto all'obiettivo di disporre di un quadro coerente e completo del patrimonio informativo dell'organizzazione. Insomma, spesso per saperne di più si finisce per saperne di meno, o per non sapere bene cosa fare di ciò che si sa.

Il prof. Lenzerini spiega che un uso consapevole dell'informatica e delle sue potenzialità conoscitive e operative offre una soluzione a questo problema. L'informatica ha sviluppato nel tempo tecniche e principi che possono essere usati non solo per realizzare manufatti tecnologici (archivi elettronici, moduli software, protocolli, eccetera), ma anche per modellare il sistema organizzativo nei suoi aspetti rilevanti.

A volte volgersi al passato può risultare utile per guardare con maggiore consapevo-

lezza verso il futuro. Fu infatti Aristotele il primo pensatore a elaborare in modo riconoscibile la nozione di modellazione come qui la si intende, ovvero un processo che mira alla individuazione dei concetti fondamentali e delle loro relazioni in uno specifico contesto.

Osserva ancora il prof. Lenzerini che, calando questa intuizione nella costruzione di sistemi informativi, si perviene a quella che, con un termine aristotelico, può venire definita come l'ontologia del dominio, ovvero un modello concettuale che descrive in modo formale e completo il contesto in cui il sistema si situa e che viene adeguatamente messo in relazione con le risorse tecnologiche. Questo approccio libera gli utenti dalla necessità di conoscere i precisi meccanismi di rappresentazione dei dati e di funzionamento dei processi, consentendogli di esprimere le loro esigenze nei termini della rappresentazione concettuale espressa mediante l'ontologia: cioè in maniera più pertinente, e quindi più efficace, con riferimento sia alle possibili domande da porre al sistema stesso, sia alle sue specifiche modalità di risposta.

In questa prospettiva, si può utilizzare la logica per descrivere l'ontologia e fare un uso appropriato delle leggi del ragionamento per manipolarla in modo corretto. Tale impostazione tanto formalizzata, quanto duttile e aderente ai problemi concreti, consente di effettuare questa manipolazione in modo automatico. Il gruppo di lavoro guidato dal prof. Lenzerini studia da anni tecniche e algoritmi che realizzano deduzioni automatiche nell'ambito della formulazione logica dell'ontologia, traducendone le indicazioni procedurali in opportuni accessi ai dati e ai programmi, ovvero al più basso livello di astrazione del sistema informativo.

Per seguire il percorso appena delineato, sono necessari metodi e strumenti propri di diverse discipline, come l'intelligenza artificiale, la teoria della computazione e la teoria della complessità computazionale. In questa aggregazione di competenze ed esperienze consiste, appunto, il valore aggiunto del progetto in questione e le sue possibilità di proiezione sul mercato internazionale dei servizi connessi alla gestione economica pubblica e privata. ■

*Renzo Pieroni collabora con traduzioni e note informative a MIT Technology Review Italia.*

## Intelligente come Google

L'inventore e futurologo Ray Kurzweil sostiene che Google è all'opera per applicare la sua teoria dell'intelligenza a una comprensione più profonda dell'informazione on line.

**Tom Simonite**

**T**ra i grandi annunci in occasione della conferenza I/O di Google a San Francisco non si è parlato del sistema di ricerca Web, la tecnologia che ha permesso all'azienda di partire e che ne ha garantito il successo. Nel corso di una breve sessione, però, l'inventore e futurologo Ray Kurzweil ha detto con fiducia che l'attuale tecnologia di ricerca diventerà presto obsoleta.

Kurzweil si è unito a Google 18 mesi fa per guidare un progetto mirato alla creazione di un software capace di comprendere i testi con la stessa abilità di un essere umano. Ora ha dichiarato che i progressi sono buoni e che i risultati porteranno a un modo interamente nuovo di effettuare ricerche nella rete e gestire le informazioni: «Interagirete con questo sistema come fareste con un assistente umano». Sarà possibile porre una domanda al software come se si stesse parlando a un'altra persona, ha detto, aggiungendo che riceveremo risposte logiche, non una semplice lista di link. Un assistente virtuale del genere potrebbe addirittura prendere l'iniziativa e farsi avanti quando nuove informazioni che riguardano domande fatte in precedenza compaiono nella rete.

Kurzweil ha aggiunto che la tecnologia arriverà a diffondersi quanto l'attuale motore di ricerca di Google e la sua portata andrà oltre i semplici documenti di testo. Prevede, inoltre, che lo sviluppo di chip dedicati a funzioni fondamentali nell'elaborazione delle informazioni permetteranno di implementare la tecnologia a prezzi inferiori e in tempi più rapidi.

Kurzweil ha fornito pochi dettagli sul funzionamento del software, ma ha spiegato che si basa sulla teoria dell'intelligenza esposta nel suo libro *How to Create a Mind* del 2012.

La teoria di Kurzweil è che tutte le funzioni nella neocorteccia, lo strato esterno del cervello in cui albergano ragionamento e pensieri astratti, sono basate su sistemi che utilizzano una gerarchia di riconoscimento e di elaborazione delle informazioni. Secondo Kurzweil, ogni strato utilizza i risultati di quelli sottostanti per elaborare schemi sempre più astratti e complessi.

Leggendo dei testi il nostro cervello riconosce prima le lettere individuali, poi comprende le parole che queste vanno a formare, il significato delle frasi o dei periodi e, infine, il pensiero o argomento che l'autore cerca di descrivere.

L'attuale tecnologia di ricerca di Google è in grado di comprendere unicamente i livelli più bassi di questa gerarchia, quali i sinonimi di parole individuali. Non è in grado di sintetizzare quella conoscenza di base per formulare una comprensione dei concetti più elevati.

L'idea di costruire software intelligenti che ricerchino i livelli successivi di questi schemi nei dati, non è un'esclusiva di Kurzweil. Il suo gruppo sta utilizzando una tecnica conosciuta come "modelli gerarchici nascosti di Markov", in uso da più di un decennio. Più recentemente, Google, Facebook, e altre società hanno compiuto balzi importanti nel riconoscimento vocale e in altre aree utilizzando un nuovo approccio conosciuto come "Deep Learning", che si basa su grandi reti di neuroni simulati e disposti in ordini gerarchici.

Ciononostante, nessuno ha ancora saputo creare un software capace di formulare una conoscenza complessa o apprendere da semplici blocchi di informazioni. «Finora questo

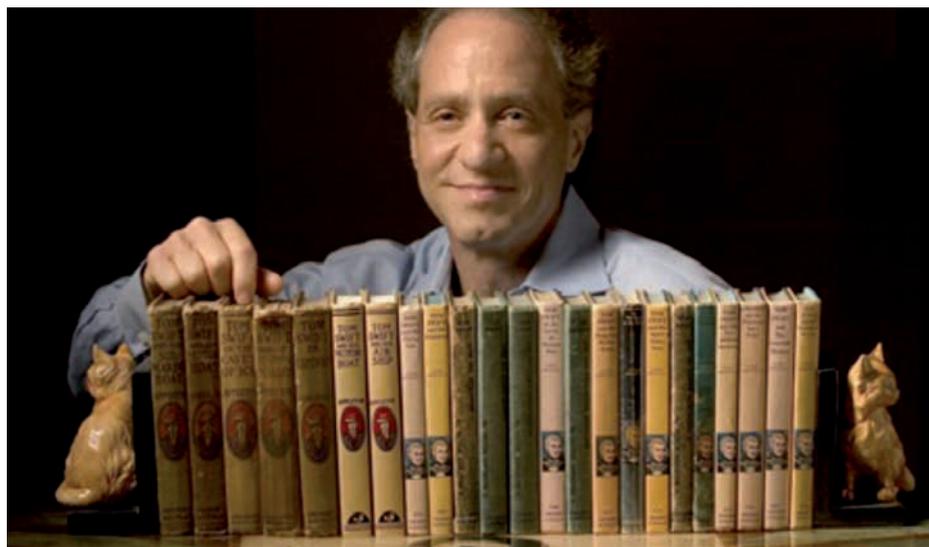
genere di risultato ha eluso il campo dell'Intelligenza Artificiale», ha detto. «Ma ora abbiamo un modello che credo risolverà il problema fondamentale di arricchire automaticamente la gerarchia».

Le affermazioni di Kurzweil sull'intelligenza umana e sulla neocorteccia sono in qualche modo controverse. Gary Marcus, un professore di psicologia della NYU, dice che questa teoria è semplicistica e non è supportata da alcuna prova da parte delle neuroscienze.

Kurzweil ha replicato che le sue idee non mancano di prove e che prevede di farne uso per creare software con capacità non lontane da quelle dell'uomo. Ha stimato che, per emulare efficacemente il cervello umano, un computer dovrebbe effettuare intorno a 100 trilioni di calcoli al secondo. «Sarebbe difficile renderlo disponibile a un miliardo di utenti, anche se Larry Page ritiene che non sarebbe impossibile».

Kurzweil ha persino dato una risposta affermativa quando gli è stato chiesto se sistemi realizzati in questo modo potrebbero addirittura diventare consapevoli: «Che un'entità disponga di una coscienza o meno non è una domanda scientifica, perché non esiste alcun esperimento falsificabile da condurre. Le persone possono trovarsi in disaccordo per quanto riguarda gli animali e le intelligenze artificiali, ma la mia convinzione è che se un'entità si dimostra consapevole e capace di provare esperienze, allora è consapevole». ■

*Tom Simonite è redattore dell'area di software e hardware di MIT Technology Review USA.*



# Nubi sulla nuvola

Gli esperti vedono nero nel futuro di Internet. Tuttavia alle considerazioni negative si possono contrapporre le imprevedibili possibilità della tecnologia.

Angelo Gallippi

L'allarme proviene da uno dei più autorevoli think tanks statunitensi: il Pew Research Center di Washington. All'inizio di luglio il Centro ha pubblicato il terzo Rapporto della serie "Digital Life in 2025", in cui ha raccolto le previsioni sul futuro di Internet formulate da un gruppo di 1.400 esperti di tecnologia (i due precedenti, dai toni più ottimistici, investigavano rispettivamente gli effetti della pervasività di Internet e le implicazioni della miriade di sensori collegati nell'Internet delle cose). Il Rapporto è basato su interviste rilasciate on line da esperti per la maggior parte nordamericani, ritenuti artefici o analisti di tecnologia, oppure autori di precedenti previsioni sul futuro di Internet. Già dal titolo, *Net Threats*, il nuovo Rapporto esprime preoccupazioni sull'evoluzione della rete, individuando minacce che rientrano in quattro filoni principali.

## Giri di vite dei governi sulle libertà digitali

Le azioni intraprese dagli Stati nazionali per mantenere la sicurezza e il controllo politico aumenteranno il blocco, il filtraggio, la segmentazione e la balcanizzazione di Internet. Gli esperti hanno notato una diffusa tendenza globale alla regolazione di Internet da parte di regimi che sono stati oggetto di proteste e hanno intensificato la sorveglianza sugli utenti della rete. Alcuni hanno citato l'applicazione da parte dei governi di regole che limitano gli scambi di tutte le informazioni nel tentativo di bloccare le attività criminali. Perfino la democratica Inghilterra impone ai fornitori di servizi Internet di bloccare i siti che il governo considera "terroristi" o altrimenti pericolosi.

## Maggiore sorveglianza/minore fiducia

La fiducia crollerà in seguito alle rivelazioni circa la sorveglianza di governi e organizzazioni commerciali, e al suo verosimile incremento in futuro. Una parte degli esperti ha insistito sulla urgenza della sorveglianza, prevedendo che il monitoraggio di ampie fette delle attività on line, se non sarà controllato, limiterà la condivisione e l'accesso alla conoscenza on line. Le

azioni dei governi renderanno la condivisione dei dati estremamente frammentata su scala geografica, e i prossimi anni saranno quelli del controllo.

## Soffocamento della creatività individuale

Il controllo effettuato dalle grandi organizzazioni e le pressioni commerciali su ogni aspetto della rete, dall'architettura al flusso di informazioni, metteranno in pericolo la struttura aperta della vita on line, mentre in futuro l'accresciuta monetizzazione delle attività in Internet nuocerà alle modalità con cui si ricevono le informazioni. Tra le preoccupazioni espresse: la futura neutralità della rete (ossia l'uguale trattamento per tutti i fornitori e fruitori di contenuti), le restrizioni allo scambio di informazioni dovute alla protezione del copyright e alle leggi sui brevetti, e una generale mancanza di previsione di governi e imprese commerciali e di capacità di favorire al meglio il futuro digitale, dovuta alla rincorsa ai guadagni immediati.

## Personalizzazione dei contenuti

Altra preoccupazione è che gli sforzi tesi a gestire il sovraccarico informativo possano condurre a restrizioni sul flusso di informazioni, contrastando la condivisione dei contenuti. I sistemi di filtraggio basati su algoritmi, ispirati dai tentativi di fare fronte a tale sovraccarico, potranno avere conseguenze tanto positive quanto negative per Internet.

I toni pessimistici del Rapporto risentono probabilmente del periodo nel quale si sono svolte le interviste: novembre 2013-gennaio 2014, mesi nei quali le prime pagine dei giornali furono inondate dalle rivelazioni di Snowden sull'attività spionistica della NSA nei confronti di semplici cittadini, non solo statunitensi. Tuttavia ai suoi elementi negativi se ne possono contrapporre altri positivi.

In risposta al crescente autoritarismo e alla collaborazione con gli Stati degli esistenti media inseriti nell'ecosistema delle "piattaforme chiuse" è in corso un grande lavoro per sviluppare versioni open source, interoperabili e crittate dei



social media. Quindi l'innovazione è in grado di fornire un rimedio alla sorveglianza.

I limiti imposti per regolamento agli usi delle informazioni generate da transazioni, limiti che possono comprendere anche multe e l'esclusione temporanea dal mercato, possono servire a ridurre la quantità di danno conoscibile a individui, gruppi e istituzioni che si basano sul Web per informazioni e interazione.

In conclusione si può osservare che il mondo digitale e Internet in particolare sono realtà talmente diverse da tutto ciò che l'umanità ha conosciuto in precedenza che le previsioni al riguardo sono particolarmente difficili. E infatti molte di quelle formulate anche da attori e analisti di primo piano dello sviluppo tecnologico sono state smentite, mentre sviluppi importanti non sono stati previsti. La celebre profezia formulata da Bill Gates nel 2004: «Entro un paio di anni lo spam sarà una cosa del passato» non si è certo avverata, né sembra destinata ad avverarsi, al pari di quelle del CEO di IBM («Penso che vi sia un mercato mondiale forse per cinque computer», 1943), della rivista "Popular Mechanics" («I computer del futuro non peseranno meno di 1,5 tonnellate», 1949) e del presidente di Digital Equipment Corporation («Non c'è ragione che qualcuno voglia un computer nella propria casa», 1977).

Infine, le stesse discussioni che oggi si fanno sul futuro della rete smentiscono clamorosamente la profezia del 1995 di Robert Metcalfe, un apprezzato ingegnere co-inventore della tecnologia di collegamento in rete Ethernet, secondo il quale nel 1966 Internet sarebbe esplosa come una supernova e quindi collassata in modo catastrofico. ■

Angelo Gallippi è giornalista, docente universitario, autore del Dizionario di informatica inglese/italiano.

## Progettare le connessioni

Le tecnologie digitali si sono legate alle nostre vite e sempre più ai nostri corpi. Come possiamo trarre i maggiori benefici da queste tecnologie senza tramutarci in cyborg?

**Federico Casalegno**

**D**al principio, il Mobile Experience Lab del MIT si è concentrato sull'utilizzo della tecnologia digitale per gestire le interazioni e le connessioni umane sul piano comunitario. Il traguardo del laboratorio è veramente quello di sviluppare la tecnologia attorno alle persone, non viceversa, da dispositivi personali intelligenti a città intelligenti. Esaminiamo alcuni esempi.

La città di Brescia stava affrontando un drammatico incremento nel numero di incidenti provocati da guidatori ubriachi. La città non voleva venire recepita unicamente per il rinforzo delle leggi, ma anche per il coinvolgimento con una cerchia sociale che potesse aiutare i giovani guidatori a ottenere risultati migliori. Ride.Link, un sistema sviluppato per la città dal Mobile Experience Lab, combina tecnologie indossabili, telefoni cellulari e una infrastruttura Web per stabilire una rete affidabile peer-to-peer con cui la gioventù bresciana può affrontare il problema sociale della guida in stato di ebbrezza, il tutto con il supporto delle istituzioni locali.

L'ufficio brasiliano dell'UNICEF addestra i giovani a raccogliere storie e dati dalle loro comunità utilizzando applicazioni smartphone basate sulla tecnologia Open Locast del Mobile Experience Lab. Con questa applicazione, i giovani possono mappare i propri quartieri, identificare la eventuale presenza di punti di servizio governativi e non, affrontare problemi di accessibilità per i giovani e localizzare spazi sociali pubblici all'interno dei quali la comunità si riunisce.

A Parigi, il Mobile Experience Lab ha lavorato con la Régie Autonome des Transports Parisiens per sviluppare fermate autobus concepite non solo per aiutare le persone a utilizzare i trasporti pubblici, ma anche per fungere da chiosco di informazioni. L'Electronic Guimard, così si chiama il servizio, mantiene le nozioni di base di un artefatto interattivo urbano e rinforza le interazioni sociali.

Che aspetto potrebbe avere, nel mondo, una residenza dotata di tecnologie digitali che incoraggia l'interazione sociale fra l'abitazione e i suoi abitanti, le altre abitazioni e i vicini, la comunità più estesa? La Connected Sustainable Home, un progetto del Mobile Experience Lab nel Trentino, è una casa intelligente "non-tecnocentrica". Le tecnologie di efficienza dell'abitazione operano come una sorta di personal trainer per incoraggiare l'efficienza e quindi la sostenibilità. Il rapporto tecnologico fra l'abitazione e i suoi abitanti può venire esteso a un mondo più ampio. Le connessioni umane sono fondamentali sia per le città intelligenti, sia per i loro "abitanti intelligenti", unendosi alla tecnologia per assicurare norme urbane coordinate, efficienti e sostenibili all'interno di quartieri, istituzioni e, di fatto, tutte le componenti sociali di un'area urbana.

Alcuni tecnologi non sembrano curarsi degli effetti aggreganti e disgreganti che i loro progetti e le loro invenzioni hanno sulle persone.

Stando seduti per conto proprio dietro lo schermo di un computer, apparentemente connessi con il mondo intero, ma privi di contatti fisici con altre persone nel mondo reale, ci si scopre isolati. Invece di sedere in compagnia di qualcuno e chiacchiere di fronte a una tazza di caffè, inviamo e-mail, o ricorriamo a Skype. Il problema è reale, e con il crescere delle capacità dei nostri dispositivi è veramente il caso di intervenire al fine di invertire questa tendenza.

Possiamo cominciare a correggere il nostro corso riconoscendo il problema e impegnandoci a fare sì che il nostro progresso tecnologico sia guidato da quello di cui le persone hanno veramente bisogno come esseri umani e non semplicemente da quello che il prossimo progresso tecnologico ci permette di fare. ■

*Federico Casalegno è direttore del Mobile Experience Lab e direttore associato del Design Laboratory del Massachusetts Institute of Technology.*



# Come controllare la tecnologia digitale

Le riflessioni di Federico Casalegno pongono il problema del potenziamento delle nostre capacità di pensiero.

**Andrea Granelli**

**L**e riflessioni di Federico Casalegno sono pienamente condivisibili. La potenza delle tecnologie digitali cresce di pari passo con le potenziali problematicità che da esse possono scaturire e gli effetti collaterali che continuamente generano. Più una tecnologia è potente, più cela al suo interno dei lati oscuri, che vanno innanzitutto conosciuti e, idealmente, dominati. Questo è sempre stato vero per ogni tecnologia potente (il nucleare docet). Il digitale pone due ulteriori sfide.

Innanzitutto la sua diffusione e dispersione, che vanifica ogni tentativo di controllo (o di linea guida) centralizzata. Il comportamento “corretto” (posto che ve ne sia uno desiderabile) o, meglio, i comportamenti sicuramente dannosi vanno compresi e assimilati dai singoli.

La seconda sfida è che il digitale, essendo essa stessa una potente tecnologia cognitiva e “identitaria”, rende molto difficile renderci conto delle trasformazioni in cui ci sta coinvolgendo.

La vera questione è, quindi, come possiamo “alzare la guardia” senza trasformarci in luddisti?

Come applicare con pienezza e profondità il “principio responsabilità” enunciato dal filosofo Hans Jonas senza cadere nell’anti-tecnologia o rifugiarsi in un difensivo “primitivismo”?

Il problema è serio e la sua dimensione problematica aumenta di giorno in giorno. La stessa Sherry Turkle – nel libro

citato da Casalegno – ha fortemente cambiato punto di vista sul tema.

Come non ricordare l’ottimismo che sprizzava dal suo libro del 1996, *La vita sullo schermo. Nuove identità e relazioni sociali nell’epoca di Internet?*

Ma nel frattempo il sistema si è fortemente complessificato, anche perché le sue proprietà o, meglio, i suoi comportamenti non sono derivabili analiticamente, ma emergono e vanno dunque osservati e letti mano a mano che il sistema evolve.

Una ricostruzione efficace della *Gemeinschaft* nell’Era della Rete richiede di tenere presente quanto ha messo rilievo il sociologo Bauman in una recente conferenza: le comunità virtuali e quelle reali sembrano simili, ma si assomigliano come il gesso e il formaggio.

Il problema non è necessariamente stabilire se una è meglio dell’altra, ma ricordarsi che, nonostante le apparenze, sono molto diverse, si comportano in maniera differente.

Il vero rischio, dunque, è l’analogia: è il dedurre meccanicamente i comportamenti e le proprietà dell’una dall’altra. Servono dunque le scienze umane.

Il curriculum di Casalegno, che conosco e stimo, spiega bene questa sua capacità di insight profondo e consapevole, tesa a dominare una tecnologia digitale sempre più potente, invasiva e apparentemente “incomprensibile”.

E allora dobbiamo ritornare alle fondamenta del pensare, del ragionare, del comunicare.

Dobbiamo tornare alle arti liberali e al trivio, considerato nell’antichità il fondamento di ogni pensiero.

Solo potenziando gli strumenti del nostro pensare, solo avendo maggiore consapevolezza di come ragioniamo, cerchiamo le informazioni, costruiamo discorsi convincenti, ci fidiamo di idee e concetti, riusciremo a cogliere il suggerimento di Casalegno.

Altrimenti il timore paventato da Erich Fromm – «Il pericolo del passato era che gli uomini diventassero schiavi. Il pericolo del futuro è che gli uomini diventino robot» – sarà molto più reale di quanto non pensiamo. ■

*Andrea Granelli è Presidente di Kanso, società di consulenza per l’innovazione.*



# PENSARE: PORRE DOMANDE, CERCARE RISPOSTE



*Scultura di Joshua Harker*

Pensare, provare emozioni e decidere sono le funzioni più intimamente umane, di cui tuttora sappiamo davvero poco. La possibilità che i neuro-scienziati possano riuscire nell'impresa, è una conseguenza dei recenti progressi tecnologici, incluse le nuove tecniche di risonanza magnetica applicate al cervello e la scienza emergente dell'opto-genetica.

**Jason Pontin**

**L**udwig Wittgenstein non era incolto da un punto di vista scientifico; aveva studiato ingegneria aeronautica presso l'università di Manchester prima della Prima Guerra Mondiale, dedicandosi allo studio degli aquiloni e progettando un'elica dotata di piccoli razzi alle estremità.

Ma il filosofo nutriva un'avversione molto forte nei confronti dello "scientismo", che Trenton Jerde, nella sua recensione su *Wittgenstein in Exile* di James Klagge, descrive come «un'ossessione contro il metodo scientifico, contro il ricorso alla scienza per risolvere problemi oltre la sua portata e contro l'abuso della terminologia scientifica».

Il filosofo era convinto del divario incolmabile fra filosofia e scienza, che Klagge definisce «la teoria dell'isolamento di Wittgenstein», una delle cui implicazioni era che la scienza non è in grado di risolvere problemi di ordine filosofico.

Wittgenstein sarebbe stato particolarmente derisorio verso la pretesa dei neuro-scienziati di spiegare compiutamente i processi mentali. Nel suo *Zettel* (una raccolta postuma di appunti) scrive in merito alla psicologia del suo tempo: «Nessuna teoria sembra essere più logica del fatto che nel cervello non c'è alcun processo correlato con il pensiero; pertanto sarebbe impossibile separare i processi del pensiero da quelli del cervello».

L'opposizione di Wittgenstein oggi è un luogo comune presso i filosofi. Molti sostengono che la comprensione delle dinamiche all'interno del cervello non è molto rilevante ai fini della conoscenza della mente, poiché qualunque cosa desunta sulla seconda facendo riferimento al primo, è una sorta di *category mistake*. Ma l'atteggiamento si sta trasformando in una difesa arroccata contro gli sconfinamenti di un metodo euristico sempre più diffuso. Quesiti come «cosa è la coscienza?» o «esiste il libero arbitrio?» o «quale è il nostro pensiero da un punto di vista etico?» sono di eterno interesse e, poiché i filosofi hanno fatto scarsi progressi nel tentativo di dare loro una risposta, i neuro-scienziati si sono sentiti liberi di provarci. Pensare, provare emozioni e decidere sono le funzioni più intimamente umane, di cui tuttora sappiamo davvero poco.

La possibilità che i neuro-scienziati possano riuscire nell'impresa, è una conseguenza dei recenti progressi tecnologici, incluse le nuove tecniche di risonanza magnetica applicate al cervello e la scienza emergente dell'opto-genetica.

In questo fascicolo MIT Technology Review illustra queste tecnologie emergenti e spiega alcune delle prime sorprendenti intuizioni che ne sono scaturite. Infine si accenna anche agli interventi che le nuove tecnologie possono rendere possibili, incluso le terapie per le malattie mentali incurabili come la schizofrenia e l'impiego di interfacce neurali a supporto di pazienti paralizzati.

Sono convinti i filosofi da qualcuno di questi progressi? Direi di no. In risposta allo studio di Gabriel Kreiman sulla capacità decisionale, Hilary Bok, filosofa presso la Johns Hopkins, commenta con riserva: «Adoro questi argomenti e trovo che siano davvero interessanti, ma sono meno convinta che possano rappresentare qualcosa di determinante in tema di libero arbitrio». Patricia Churchland, filosofa presso l'Università della California a San Diego, dice degli stessi esperimenti che, «nella misura in cui l'autocontrollo è un fattore determinante della libera scelta, siamo di fatto in grado di scegliere liberamente».

Ma forse non è importante ciò che pensano i filosofi di professione. Hanno avuto duemila anni di tempo per rispondere a queste domande, in base ai loro assunti teorici. L'efficacia di una spiegazione consiste nella sua capacità di fare sufficiente chiarezza su qualcosa che prima era incomprensibile e di consentire di fare cose che prima non potevamo fare (in questo caso, curare con successo le malattie mentali e progettare protesi cerebrali). Nella misura in cui la filosofia tradizionale ha un ruolo determinante nella conoscenza della mente, dovrebbe porre domande e vagliare risposte e queste domande diventeranno sempre più interessanti grazie ai progressi speculativi della neuro-scienza. ■

*Jason Pontin è direttore editoriale di MIT Technology Review USA.*

# NUOVI STRUMENTI DELLE NEURO- SCIENZE

Con l'invenzione della opto-genetica e di altre determinanti tecnologie, per la prima volta i ricercatori possono risalire alle origini delle emozioni, della memoria e della coscienza.

**Stephen S. Hall**

In California (dove, altrimenti?) ha cominciato a prendere forma un approccio alle neuro-scienze comportamentali che potremo definire in stile "fate l'amore, non la guerra". Tutto risale a qualche anno fa, quando i ricercatori del laboratorio di David J. Anderson, al Caltech, decisero di affrontare il tema della biologia dell'aggressività, dando origine alla nuova linea di indagine mediante una versione di *Fight Night*, un noto videogioco di boxe, pensata appositamente per i topi di laboratorio. Nell'esperimento si trattava di provocare un esemplare maschio fino a spingerlo ad azzuffarsi con un rivale e da qui avviare un meticoloso lavoro di indagine molecolare focalizzato su un ristretto gruppo di cellule dell'ipotalamo che si attivavano nel momento in cui i topi iniziavano a combattere.

L'ipotalamo è una piccola struttura profonda dell'encefalo che tra le altre funzioni coordina alcuni input sensoriali, per esempio la comparsa di un avversario nel campo visivo, e le conseguenti risposte comportamentali istintive. Fino dagli anni Venti del secolo scorso Walter Hess ricercatore dell'Università di Zurigo che avrebbe vinto il Nobel nel 1949, aveva dimostrato che inserendo un elettrodo nel cervello di un gatto e stimolando elettricamente determinate regioni dell'ipotalamo dell'animale era possibile trasformare in una furia scatenata anche il più pacifico gomitolino di pelo arrotolato a fare le fusa. Furono formulate diverse interessanti teorie per spiegare come e perché avvenisse, ma non c'era modo di verificarle sperimentalmente. Come molte altre questioni neuro-scientifiche, il mistero dell'aggressività non è stato risolto nel corso degli ultimi cento anni e a un certo punto si è scontrato con un insormontabile ostacolo di natura empirica. Le domande formulate erano più che buone, ma nessuna tecnologia avrebbe potuto dare una risposta.

Arrivati all'anno 2010, il laboratorio di Anderson cominciò a smontare pezzo per pezzo i meccanismi e la circuiteria neuronale sottostante all'aggressività dei pugnaci topolini. Armati di una serie di nuove tecnologie che consentivano di concentrarsi su singoli gruppi di cellule di una regione cerebrale, gli scienziati inciamparono in una sorprendente scoperta anatomica: la minuscola parte dell'ipotalamo che sembrava più correlata al comportamento aggressivo era stretta-

mente intrecciata con la zona associata all'impulso dell'accoppiamento. Quel microscopico territorio di cellule, tecnicamente noto come ipotalamo ventro-mediale, risultò essere un agglomerato di circa cinquemila neuroni stratificati tra loro, gli uni apparentemente connessi all'attività riproduttiva, gli altri al combattimento.

«Il neurone generico non esiste,» spiega Anderson, che ritiene possano esistere diecimila classi distinte di cellule neuronali nel cervello. Anche le più piccole regioni dell'encefalo, dice, ne contengono una miscela e questi neuroni «spesso influiscono sul comportamento lungo direttive diverse, opposte». Nel caso dell'ipotalamo, alcuni neuroni sembravano attivarsi in concomitanza con un comportamento aggressivo, alcuni nel corso dell'accoppiamento e un piccolo sottoinsieme – circa il 20 per cento – in entrambe le situazioni.

Era una scoperta provocante, ma al tempo stesso poteva venire considerata il lascito di una neurologia di vecchio stile. Per un neurone essere attivo non significa per forza determinare un comportamento; si trattava di una semplice correlazione. Come potevano gli scienziati conoscere con certezza il fattore che scatenava un determinato comportamento? Sarebbero stati in grado di indurre un topo a una rissa semplicemente andando a solleticare qualche cellula del suo ipotalamo?

Dieci anni fa ciò non sarebbe stato tecnologicamente possibile. Ma nel frattempo la neuro-scienza è stata rivoluzionata da uno straordinario procedimento chiamato opto-genetica, inventato dai ricercatori di Stanford e descritto per la prima volta nel 2005. Gli scienziati del Caltech sono riusciti a innestare un gene foto-sensibile, a sua volta geneticamente modificato, all'interno di una specifica cellula di una precisa regione cerebrale di un topo maschio vivente, in grado di respirare a pieni polmoni, arzilla e occasionalmente in calore. Inserendo una fibra ottica sottile come un capello in quel cervello vivo, diventava possibile accendere e spegnere i neuroni dell'ipotalamo con un lampo di luce.

Anderson e i suoi collaboratori si sono serviti dell'opto-genetica per produrre un video che visualizza in modo drammatico le tensioni amore-odio radicate nell'intimo dei roditori. Il filmato mostra il

maschio del topo impegnato a fare il proprio dovere, copulando con un esemplare femmina, fino a quando uno dei ricercatori preme l'interruttore della luce. In quel preciso istante l'appassionato amante si fa prendere da un attacco d'ira furiosa. Quando la fibra si accende, anche il più mite dei topolini può venire indotto ad attaccare qualunque bersaglio gli capiti sotto tiro.

Di converso, i ricercatori riescono a inibire gli stessi neuroni nel pieno di una crisi di rabbia semplicemente spegnendo la luce.

I ricercatori danno spazio all'ipotesi secondo cui nel calcolo comportamentale l'attività amatoria tenderebbe a escludere quella guerresca: più il topo è prossimo a consumare l'atto riproduttivo, più resistente (o distratto) risulta essere agli impulsi luminosi che normalmente riescono a scatenare subito l'aggressione. In un articolo pubblicato su "Biological Psychiatry" con il titolo di *Optogenetics, Sex and Violence in the Brain: Implications for Psychiatry*, Anderson osservava come «l'imperativo "fai l'amore, non la guerra", sia inciso profondamente nel nostro sistema nervoso, addirittura più di quanto immaginavamo». Siamo amanti e guerrieri al tempo stesso, con una sottilissima distanza neurologica a separare i due impulsi.

Nessuno suggerisce che presto saremo in grado di inserire degli interruttori neuronali per domare i comportamenti aggressivi. Ma, come sottolinea Anderson, la ricerca mette in evidenza la questione, più vasta, di come una nuova tecnica di indagine possa reinventare il modo di far scienza in neurologia. «La capacità dell'opto-genetica di trasformare un campo fatto sostanzialmente di correlazioni in qualcosa che mi permette di sperimentare i meccanismi di causa e effetto, ha cambiato profondamente le cose». L'aspetto più radicale di questa tecnica è che essa consente agli scienziati di interferire con una cellula o una rete di cellule con incredibile precisione, fattore chiave per mappare i circuiti che determinano i vari tipi di comportamento. Mentre tecnologie più convenzionali come l'*imaging* consentono di visualizzare le aree di attività cerebrale, con l'opto-genetica il ricercatore può influire su quelle azioni, manipolando specifiche parti del cervello in specifici istanti per osservare quello che succede.

L'opto-genetica, inoltre, è solo uno dei tanti strumenti che avranno verosimilmente un ruolo centrale in quella che possiamo chiamare una nuova era delle neuro-scienze. Importanti iniziative oggi in corso negli Stati Uniti e in Europa puntano a scoprire in che modo dal cervello possa avere origine tutto, dal pensiero astratto alla più elementare elaborazione sensoriale, fino a sentimenti ed emozioni come l'aggressività. La coscienza, il libero arbitrio, la memoria, l'apprendimento: tutto questo è oggi sul tavolo dei ricercatori impegnati con questi strumenti a investigare sui meccanismi che consentono al cervello di ottenere effetti in apparenza così misteriosi.

## Genetica e genomica

Più di duemila anni fa Ippocrate osservava che chi voleva comprendere la mente, doveva studiare il cervello. Negli ultimi due millenni niente ha contribuito a modificare tale imperativo, a parte i nuovi utensili di cui la neuro-scienza sta cominciando a servirsi.

La storia di questa disciplina, come tutta la storia della scienza, è in parte il racconto di nuove tecniche e dispositivi introdotti nel corso del tempo. Il primo, fortuito elettrodo di Luigi Galvani, facendo guizzare il muscolo di una coscia di rana ispirò ogni successivo esperimento con sonde elettriche, dal gatto di Walter Hess fino agli attuali trattamenti basati sulla stimolazione elettro-encefalica profonda per la

cura del Parkinson (a livello mondiale sono già trentamila i pazienti a cui sono stati impiantati degli elettrodi permanenti con questa finalità). Il cosiddetto "blocco di area" (*patch clamp*) ha consentito ai neuro-fisiologi di osservare i flussi e i vortici di ioni in un neurone che si prepara a lanciare i suoi impulsi. Certo Paul Lauterbur non si rendeva pienamente conto di avere gettato le basi della risonanza magnetica e dello studio dal vivo dell'anatomia e dell'attività cerebrale, quando con i suoi colleghi del laboratorio dell'Università statale di New York, a Stony Brook, agli inizi degli anni Settanta, decise di concentrare un forte campo magnetico su una semplice, inerme vongola.

Ma la vera rivoluzione scaturisce dai progressi maturati in questi ultimi anni nel campo della genetica e degli strumenti genomici. Queste scoperte hanno reso possibile il livello di manipolazione che è alla base delle tecniche di opto-genetica. Metodi ancora più recenti di riscrittura della base genomica possono servire per alterare i geni delle cellule viventi in laboratorio. Grazie alla opto-genetica e agli altri strumenti a loro disposizione gli scienziati possono indirizzare con precisione la funzione di migliaia di diversi tipi di cellule nervose tra gli 86 miliardi di neuroni che compongono il cervello.

La misura più efficace del valore di una nuova tecnologia consiste nel numero di scienziati che la adottano e iniziano con essa a mappare ambiti di ricerca fino a quel momento inesplorati. Nelle parole di Edward Boyden, lo scienziato del MIT che ha contribuito allo sviluppo della opto-genetica, «ogni volta che inventiamo una tecnologia nuova c'è una piccola corsa all'oro».

Senza considerare che, mentre i ricercatori si gettano sulle opportunità legate alla genomica e all'opto-genetica, sulla scena si affacciano continue novità. Un nuovo trattamento chimico consente per esempio di osservare direttamente le fibre nervose nel cervello dei mammiferi; micro-elettrodi robotizzati possono intercettare (e modificare) i segnali emessi da una singola cellula di un organismo vivente; altre tecniche di visualizzazione, ancora più sofisticate, mettono i ricercatori in grado di porre in correlazione neuroni e fibre presenti in sottili sezioni di cervello, per una mappatura tridimensionale dei vari collegamenti. Utilizzando tutti questi attrezzi per arrivare a una migliore comprensione dell'attività cerebrale, gli scienziati sperano di conquistare i trofei più ambiti della gara cognitiva: la memoria, i meccanismi decisionali, la coscienza di sé, le malattie psichiatriche come la depressione e, naturalmente, il sesso e la violenza.

Nel gennaio 2013 la Commissione Europea ha investito un miliardo di dollari nel lancio dello *Human Brain Project*, una iniziativa che durerà dieci anni con l'obiettivo di ricostruire la mappa completa delle connessioni cerebrali. Qualche mese dopo, ad aprile, l'amministrazione Obama ha annunciato l'iniziativa BRAIN (*Brain Research through Advanced Innovative Neurotechnologies*), per cui è previsto un investimento di un miliardo di dollari, la maggiore parte già assegnata allo sviluppo delle necessarie tecnologie. A questi si aggiunge lo *Human Connectome Project*, che prevede di utilizzare sequenze di sezioni di tessuto cerebrale contigue, visualizzate al microscopio elettronico per mappare nelle tre dimensioni i neuroni e le loro connessioni. Iniziative complementari rivolte al cosiddetto connettoma sono in corso presso l'Howard Hughes Medical Institute della Virginia e l'Allen Institute for Brain Science di Seattle. Fanno tutte parte di un grande sforzo portato avanti a livello globale, con fondi pubblici e privati, mirato alla

creazione di una immagine comprensiva del cervello umano, dal livello dei geni e delle singole cellule ai collegamenti e ai circuiti.

Lo scorso dicembre, come prima tappa dell'iniziativa BRAIN, i National Institutes of Health hanno lanciato un bando per un totale di 40 milioni di dollari da assegnare a progetti per lo sviluppo di tecnologie orientate alla ricerca neuro-scientifica. «Come mai BRAIN pone tutta questa enfasi sull'aspetto tecnologico?», si chiede Cornelia Bargmann, neuro-scientista della Rockefeller University, che è corresponsabile del processo di pianificazione dell'intero progetto. «Il vero obiettivo è riuscire a capire come funziona il cervello su molteplici livelli, nello spazio e nel tempo, dentro a una molteplicità di diversi neuroni, simultaneamente. Finora, a ostacolarci sono stati i nostri limiti tecnologici».

## Neuro-scienza e neuro-tecnologia

Le prime origini dell'opto-genetica risalgono all'anno 2000, in occasione di una lunga chiacchierata serale all'Università di Stanford. Fu allora che due neurologi, Karl Deisseroth e Edward Boyden cominciarono a scambiarsi le prime idee su come identificare e in ultima analisi manipolare l'attività di specifici circuiti cerebrali. Deisseroth, che a Stanford aveva conseguito il suo dottorato in neuro-scienza, ambiva a comprendere (e possibilmente curare) le affezioni mentali che angustiano l'umanità dai tempi di Ippocrate, in particolare l'ansia e la depressione. Boyden, che stava lavorando a un dottorato in fisiologia del cervello, nutriva un'enorme curiosità in materia di neuro-tecnologia. Sulle prime, le loro ipotesi vertevano sull'impiego di microscopiche sferette magnetiche come strumento di manipolazione delle funzionalità cerebrali in animali vivi e integri. Ma a un certo punto, nel corso dei successivi cinque anni, si accese un altro tipo di lampadina.

Fino dagli anni Settanta, i micro-biologi avevano studiato una nuova tipologia di molecole foto-sensibili chiamate rodospine, che erano state identificate in semplici organismi come batteri, funghi e alghe. Queste proteine agiscono come una sorta di guardiano lungo le pareti di una cellula; quando rilevano un segnale luminoso a una particolare lunghezza d'onda autorizzano l'ingresso di ioni o viceversa permettono agli ioni di uscire dalla cellula. Questi flussi di ioni ricalcano il processo con cui i neuroni "sparano" i loro segnali: la carica si accumula all'interno del neurone fino a quando la cellula lascia partire un picco di attività elettrica che fluisce attraverso le sue fibre (gli assoni) fino alle sinapsi, dove il messaggio viene trasferito alle cellule successive lungo il percorso. Gli scienziati ipotizzarono che, riuscendo a "contrabbandare" all'interno del neurone il gene corrispondente a una di queste proteine foto-sensibili e a stimolarle attraverso un segnale luminoso, sarebbe stato possibile indurre il neurone ad accendersi e spegnersi a comando. In termini più semplici, un lampo di luce avrebbe consentito di accendere o spegnere uno specifico neurone di un animale in stato cosciente.

Nel 2004 Deisseroth ebbe successo nell'inserire il gene di una molecola foto-sensibile estratta da un'alga in una cellula neuronale proveniente da un mammifero e coltivata in vitro. Deisseroth e Boyden riuscirono in seguito a dimostrare che il neurone poteva essere attivato illuminandolo con luce blu. Più o meno nello stesso periodo, nel laboratorio di Deisseroth entrò uno studente post-laurea, Feng Zhang, che dai tempi del liceo, a Des Moines, Iowa, aveva maturato una precoce esperienza nel campo delle tecniche della biologia molecolare e della terapia genica. Zhang dimostrò che il gene

**Grazie alla opto-genetica gli scienziati possono definire con precisione la funzione di migliaia di diversi tipi di cellule nervose tra gli 86 miliardi di neuroni che compongono il cervello.**

della proteina desiderata poteva venire introdotto nei neuroni per mezzo di un virus geneticamente modificato. Sempre servendosi di impulsi di luce blu, i ricercatori di Stanford dimostrarono di riuscire ad attivare o disattivare gli impulsi elettrici trasmessi dai neuroni estratti da un mammifero e modificati dal virus.

La neuro-scienza si appropriò subito di questa tecnica adoperandosi per inserire geni foto-sensibili nel tessuto nervoso di animali viventi. I ricercatori dello stesso laboratorio di Deisseroth se ne servirono per identificare nuovi traccianti di controllo dei livelli di ansia nei topi e, insieme ai colleghi del Mount Sinai Hospital di New York, riuscirono a trovare, in topi e ratti, l'interruttore della depressione. Più recentemente, il laboratorio di Susumu Tonegawa al MIT ha usato l'opto-genetica per creare false memorie negli animali di laboratorio.

Nel dicembre scorso, durante la mia visita presso il suo ufficio del MIT Media Lab, Boyden cominciò a ripercorrere al computer le sue ultime pubblicazioni in tema di opto-genetica. Con una raffica di parole non meno rapida delle sue dita sulla tastiera, mi parlò delle tecnologie di seconda generazione, che in questo momento sono in fase di sviluppo. Una di queste riguarda il monitoraggio di una singola cellula nervosa in animali anestetizzati e coscienti con lo scopo di spiare «ciò che si svolge sotto il pelo dell'acqua di un oceano di attività» dentro al neurone quando un essere vivente è inconscio. Secondo Boyden, «servirà per chiarire che cosa significa avere pensieri, coscienza, sentimenti».

Il gruppo legato a Boyden ha appena consegnato alle testate scientifiche uno studio dedicato a un nuovo risvolto dell'opto-genetica: attraverso l'impiego simultaneo di lunghezze d'onda nel rosso e nel blu è possibile alterare traccianti neurali separati e indipendenti. Potenzialmente con questa tecnica si riuscirà a dimostrare come due circuiti interagiscono e si influenzano a vicenda. Lo stesso gruppo sta lavorando a un sistema di sonde e microscopi «a densità incredibilmente elevata» con cui registrare l'attività dell'intero cervello.

A qualche isolato di distanza, Feng Zhang, oggi assistente del MIT e membro di facoltà del Broad Institute, snocciola una serie di annose tematiche neuro-scientifiche che le nuove tecnologie potrebbero finalmente affrontare. «Possiamo pensare di potenziare la nostra memoria e aumentarne la capacità?», si chiede Zhang. «Come vengono codificati a livello genetico i circuiti neuronali? È possibile riprogrammare le istruzioni genetiche? Come si riparano le mutazioni genetiche che provocano errori o altre alterazioni di questi circuiti? C'è il modo di ringiovanire un cervello invecchiato?».

Oltre ad avere contribuito alla scoperta della opto-genetica, Zhang ha avuto un ruolo determinante nello sviluppo di una tecnica di riscrittura genetica chiamata CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) che consente ai ricercatori

di mirare a un determinato gene del neurone, rimuovendolo o modificandolo. Se la modifica include una mutazione sospettata di provocare una patologia cerebrale, i ricercatori potranno studiare l'evoluzione della malattia negli animali di laboratorio. In alternativa la CRISPR può venire utilizzata in laboratorio per modificare le cellule staminali e farle crescere in neuroni per osservare gli effetti.

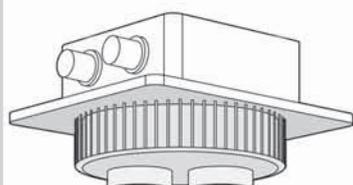
### La materia bianca

Ancora a Stanford, quando non è impegnato a visitare i pazienti con disturbi dello spettro autistico o in stato depressivo della clinica dell'università, Deisseroth continua a inventare strumenti da utilizzare per lo studio di queste condizioni. La scorsa estate il suo laboratorio ha annunciato una nuova modalità attraverso cui gli scienziati possono

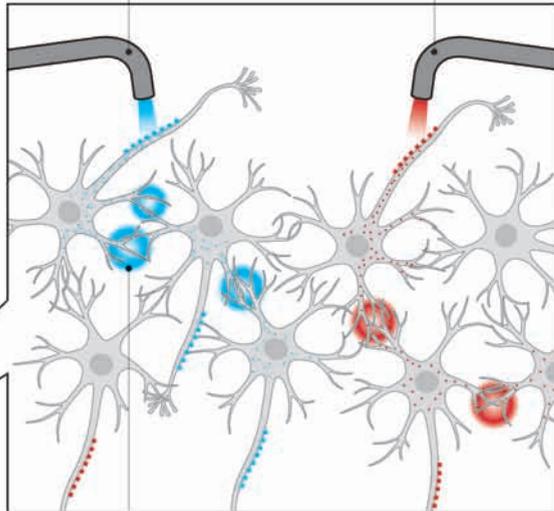
visualizzare la cablatura di fibre nervose, conosciuta come "materia bianca", che mette in connessione distretti del cervello non contigui tra loro. La tecnica, chiamata Clarity, in un primo momento immobilizza le molecole biologiche come le proteine o il DNA all'interno di un reticolo di materiale di tipo plastico, che serve a mantenere l'integrità fisica del cervello *post mortem*. In seguito i ricercatori immergono in questo reticolo una sorta di detergente che dissolve la materia grassa del tessuto cerebrale, che normalmente blocca la radiazione luminosa. Il cervello in pratica diventa trasparente, rendendo di colpo manifesto il tracciato tridimensionale delle sue connessioni.

Messi insieme, tutti questi nuovi strumenti di indagine stanno trasformando molte credenze diffuse tra i neuro-scienziati. In una rassegna pubblicata su "Nature" all'inizio di quest'anno, Deisseroth

## Opto-genetica Interruttori per neuroni



**Controllo del pensiero**  
Sottili fibre ottiche trasportano la luce nel cervello del topo.



**Attivo**  
La luce di colore blu attiva i neuroni che sono stati geneticamente modificati per produrre una specifica proteina.

**Spento**  
Una luce rossa serve per silenziare altri neuroni modificati per dar luogo a una proteina diversa.

**Relé circuitale**  
In seguito alla foto-attivazione il neurone può trasmettere un segnale alle cellule adiacenti.

### Gli attori principali

- Gero Miesenböck, Università di Oxford
- Edward Boyden, MIT
- Karl Deisseroth, Università di Stanford
- Feng Zhang, Broad Institute of MIT e Harvard

In una massa di miliardi di cellule cerebrali, quale ruolo assumono i singoli neuroni nel controllare movimenti e attività cognitive, o nel provocare disturbi come la depressione e l'autismo? Una risposta può giungere dall'osservazione del funzionamento di determinati neuroni o circuiti neuronali nei topi e negli altri animali di laboratorio.

Una tecnica chiamata opto-genetica offre agli scienziati la possibilità di accendere e spegnere queste cellule. Ne consegue che oggi i ricercatori possono verificare se un determinato insieme di neuroni è responsabile di un certo tipo di comportamento o di patologia. Grazie alla opto-genetica, gli studiosi riescono a manipolare i neuroni nell'organismo di vermi, mosche, topi e persino scimmie. La tecnologia è stata utilizzata per analizzare i processi neuronali che sottendono all'epilessia, la tossicodipendenza, la depressione e altri disturbi.

L'opto-genetica si basa sulla manipolazione genetica dei neuroni che vengono abilitati a produrre proteine foto-sensibili, e su una fonte luminosa a lunghezza d'onda variabile che spesso viene applicata attraverso una perforazione nel cranio. Per diverso tempo, se la proteina foto-sensibile si dimostrava molto efficiente nel ruolo di attivatore dei neuroni, la loro disattivazione avveniva molto più lentamente. Ma recentemente i ricercatori sono riusciti a ingegnerizzare una proteina che riesce a silenziare i neuroni con grande efficacia, espandendo così l'armamentario di strumenti per lo studio della funzione che i vari neuroni svolgono nei molteplici circuiti cerebrali.

Pure essendo improbabile che l'opto-genetica possa venire utilizzata su cervelli umani prima di un lungo tempo, nel breve termine questa tecnica può indirizzarci verso nuove strategie di cura di malattie neurologiche devastanti.

Grafico: John Macneill

osserva per esempio che l'opto-genetica ha rimesso in discussione molte delle idee relative alla stimolazione encefalica profonda, ampiamente utilizzata per curare di tutto, dai tremori all'epilessia, all'ansia e ai disturbi ossessivo-compulsivi. Nessuno sa dire perché la cura funzioni, ma il presupposto operativo è che gli effetti terapeutici derivino dalla stimolazione elettrica di regioni molto specifiche del cervello; i neurochirurghi fanno del loro meglio per sistemare gli elettrodi con la massima precisione possibile.

Nel 2009, tuttavia, Deisseroth e colleghi hanno dimostrato che, andando a stimolare in modo specifico la materia bianca, i "cavi" neuronali in prossimità degli elettrodi, era possibile ottenere i miglioramenti più consistenti sul piano clinico relativamente ai sintomi del morbo di Parkinson.

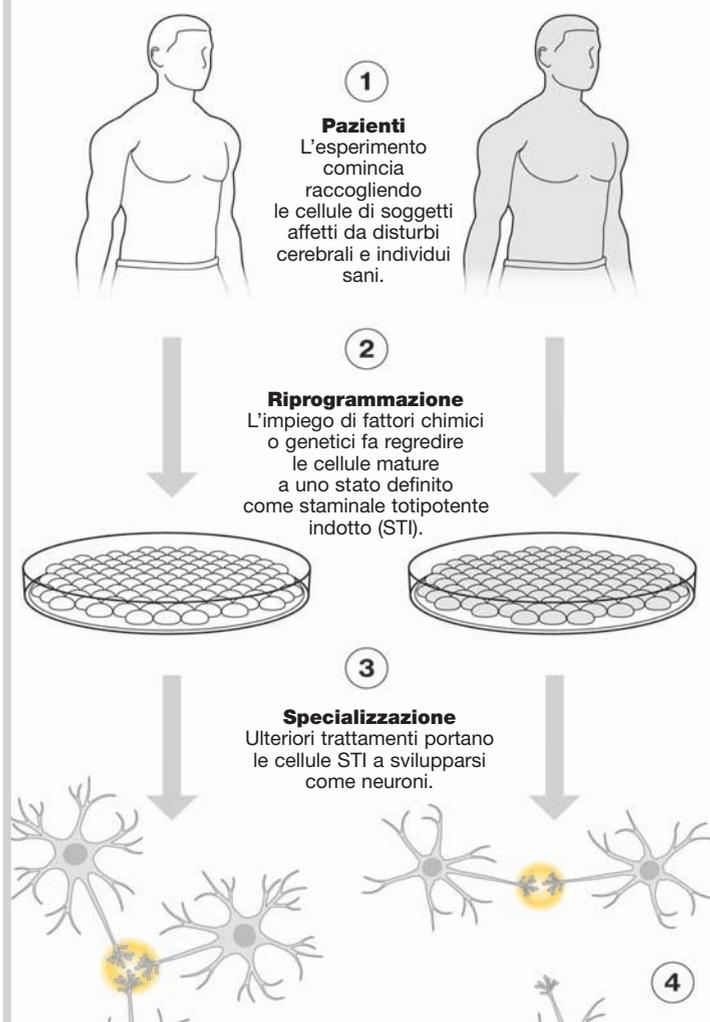
In altre parole, non era tanto la regione del cervello a contare, ma l'autostrada neurologica che passava lì vicino. Spesso gli scienziati ricorrono a termini come "sorprendente" o "inatteso" per caratterizzare risultati recenti di questo tipo, facendoci

**Gli scienziati ipotizzarono che inserendo all'interno del neurone il gene corrispondente a una delle proteine foto-sensibili e stimolandole attraverso un segnale luminoso, si potesse indurre il neurone ad accendersi e spegnersi a comando.**

intuire l'impatto che l'opto-genetica ha avuto sulla comprensione della malattia psichiatrica.

In questo senso Anderson, al Caltech, sottolinea come la infatuazione mediatica e scientifica che ha investito gli studi basati sulla risonanza magnetica funzionale negli ultimi vent'anni abbia creato l'impressione che certe regioni del cervello agiscano come "centri" di

## Neuroni coltivati per analizzare la natura di un disturbo



### 1 su 4

La proporzione di individui su scala mondiale affetti da un disturbo di natura mentale nell'arco della loro vita.

### 5

Il numero di disordini cerebrali importanti accumulati da variazioni genetiche, tra cui la schizofrenia.

### 400

Il numero di geni o regioni cromosomiche che si possono annoverare tra i fattori di rischio dell'autismo.

I mutamenti cellulari e genetici che determinano la maggiore parte dei disturbi cerebrali, non sono molto conosciuti. Oggi è però possibile comprendere questi mutamenti grazie a nuove tecnologie che potrebbero aiutare gli scienziati a individuare nuovi farmaci e terapie.

Una delle possibilità è coltivare in vitro i neuroni prelevati da un paziente. Tutto ciò di cui necessitano i ricercatori, è un campione di cellule prelevate dall'epidermide o da un'altra area facilmente accessibile; queste cellule vengono prima trasformate in staminali e quindi in neuroni. I neuroni in coltura vengono analizzati per evidenziare cambiamenti a livello di morfologia o funzionalità. I ricercatori possono sperimentare farmaci sulle cellule per verificare eventuali miglioramenti.

Gli scienziati possono ricorrere alle tecniche di riscrittura del genoma per introdurre nelle cellule staminali le modifiche sospettate di essere alla base del disturbo studiato, verificando se il neurone risultante sia effettivamente anormale.

Grafico: John Macneill

attività neurologica: che l'amigdala sia il "centro" della paura, o l'ipotalamo sia il "centro" dell'aggressività. Ma Anderson spiega che con la RMNf è come osservare un paesaggio notturno da un velivolo a diecimila metri di quota «cercando di capire quel che succede in una singola città». L'opto-genetica, al contrario, ci ha restituito una visuale molto più dettagliata di una piccola ripartizione di cellule dell'ipotalamo e di conseguenza un quadro molto più complesso e variegato dell'aggressività. Basta accendere qualche neurone di quella piccola città per indurre un organismo a fare la guerra, ma accendendo i neuroni della porta accanto, lo stesso individuo viene incoraggiato a fare l'amore.

Queste nuove tecniche consentiranno agli scienziati di gettare i primi sguardi sulla cognitività umana in piena azione, l'immagine di come pensieri, sentimenti, istinti e attività mentali disfunzionali possano emergere dai circuiti neuronali e dall'attività di specifici tipi di cellula. I ricercatori stanno solo muovendo i primi passi, ma considerando il ritmo a cui si sono succedute le tecnolo-

**Spesso gli scienziati ricorrono a termini come "sorprendente" o "inatteso" per definire risultati recenti delle ricerche sul cervello, facendoci intuire l'impatto che l'opto-genetica ha avuto sulla comprensione delle malattie psichiatriche.**

gie più recenti, quel quadro potrebbe formarsi molto prima di quanto fosse possibile immaginare appena qualche anno fa, quando gli interruttori opto-genetici cominciarono ad accendere le loro prime, tenui lampadine. ■

*Stephen S. Hall è divulgatore scientifico con sede a New York.*

## Mappatura cerebrale per le superstrade dell'informazione

### 86 miliardi

Numero di neuroni nel cervello dell'adulto.

### 10.000

Limite superiore per il numero di sinapsi, o connessioni, che un singolo neurone può formare.

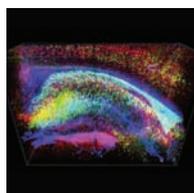
### 1 milione di miliardi

Stima del numero di sinapsi presenti nel cervello umano.

Molte delle funzioni del cervello derivano da processi in cui gruppi di neuroni agiscono simultaneamente per trasmettere i loro segnali tra diverse regioni. La mappatura di questi percorsi aiuterà gli scienziati a capire il funzionamento del cervello. Il compito è immenso, ma molti gruppi di ricerca stanno collaborando all'impresa, guardando ai diversi aspetti dell'anatomia dell'encefalo.

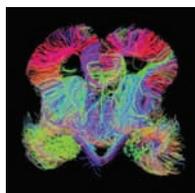
Grafico: John Macneill.  
Fotografie: Deisseroth Lab (Clarity); Allen Institute for Brain Science (BrainSpan); Human Connectome Project.

### Altre tecniche di mappatura



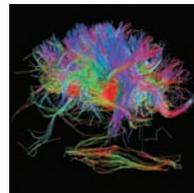
#### Clarity

Rimuovendo la materia grassa all'interno del cervello dei mammiferi, gli scienziati riescono a colorare e visualizzare i più minuti dettagli dei neuroni, come in questa immagine del cervello di un topo.



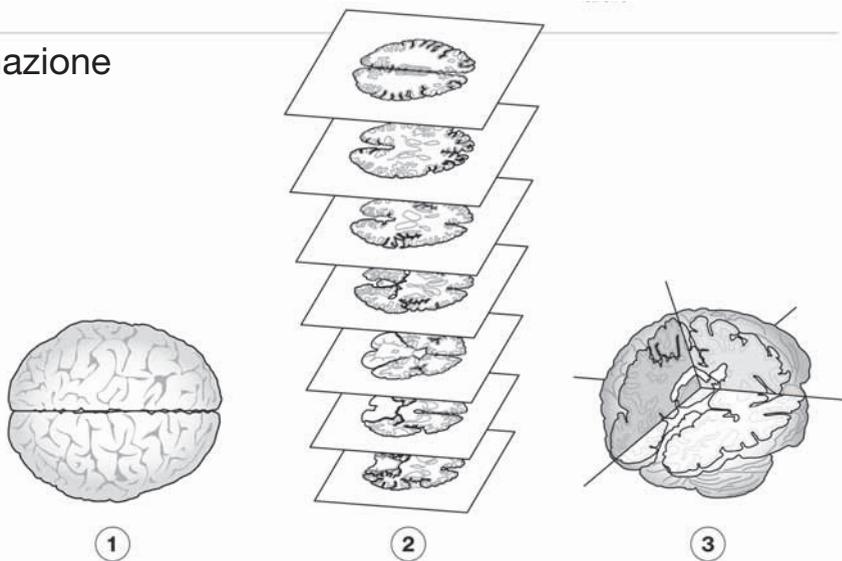
#### Atlante BrainSpan

Presso l'Allen Institute for Brain Science è stata prodotta una mappa tridimensionale delle strutture e delle attività geniche nei cervelli pre-natali.



#### Progetto Connettoma Umano presso il NIH

Una forma molto avanzata di risonanza magnetica nucleare consente ai neuro-scienziati di visualizzare sia la microscopica struttura delle cellule, sia le strutture più estese.



#### Preparazione del campione

Nel Centro ricerche di Jülich, in Germania, un cervello viene espantato in sede di autopsia, conservato in sostanze chimiche e sottoposto a scansione con un apparato RMN, in modo da costituire un modello per le successive ricostruzioni virtuali.

#### Sezionamento e scansione

L'encefalo viene ridotto in fettine ultrasottili, che vengono poi sottoposte a colorazione e acquisite con lo scanner.

#### Ricomposizione e mappatura

Le immagini radiologiche delle singole sezioni vengono rielaborate al computer per ricreare un modello tridimensionale.

## A CACCIA DEL CODICE SEGRETO DEL CERVELLO

Il cervello elabora le informazioni in modi molto complessi, basati sull'attività elettrica dei neuroni. Decodificare il funzionamento di questi sistemi può aiutarci a controllare meglio la malattia mentale, o consentirci di sviluppare chip in grado di potenziare la memoria e computer che intuiscono in anticipo i nostri bisogni.

**Christof Koch e Gary Marcus**

**N**el suo *Che cos'è la vita* (1944) una delle fondamentali domande poste dal fisico Erwin Schrödinger verteva sull'esistenza o meno di una sorta di "testo cifrato ereditario" racchiuso nei cromosomi. Dieci anni dopo, Crick e Watson risponderanno affermativamente alla domanda di Schrödinger. L'informazione genetica era immagazzinata nella semplice disposizione dei nucleotidi attraverso le lunghe stringhe di DNA.

La questione riguardava il vero significato di queste stringhe. Oggi anche uno studente sa che all'interno di quella molecola c'è un codice: segmenti composti da tre nucleotidi adiacenti, i cosiddetti codoni, vengono trascritti dal DNA verso sequenze transitorie di molecole di RNA, che a loro volta vengono tradotte nelle lunghe catene degli aminoacidi che chiamiamo proteine. Decifrare quel codice è stata la chiave di volta di tutte le successive scoperte in campo biomolecolare. Di fatto il codice che traduce le triplette di nucleotidi in aminoacidi (per esempio, i nucleotidi AAG codificano l'aminoacido lisina) è risultato universale; le cellule di tutti gli organismi, grandi o piccoli - batteri, gigantesche sequoie, cani ed esseri umani - utilizzano lo stesso codice, con trascurabili variazioni. Forse la neuroscienza scoprirà qualche cosa di analoga bellezza e potenza, un codice mastro che ci consenta di interpretare a piacimento qualsiasi schema di attività neuronale?

La posta in gioco è l'insieme di ogni singolo, decisivo passo avanti che possiamo immaginare sul lungo cammino della neuroscienza: trapianti cerebrali in grado di potenziare la memoria, terapie per disturbi mentali come la schizofrenia o la depressione, neuro-protesi

che consentano il movimento degli arti nei pazienti paralizzati. Poiché tutto ciò che pensiamo, ricordiamo e sentiamo è in qualche modo codificato nel cervello, decifrarne l'attività costituirà un colossale passo avanti verso il futuro della "neuro-ingegneria".

Un giorno, l'uso di componenti elettronici impiantati direttamente sul cervello consentirà ai pazienti con trauma spinale di aggirare i nervi danneggiati e controllare arti robotici con il pensiero. In un prossimo futuro sistemi di bio-retroazione saranno potenzialmente in grado di anticipare i sintomi del disturbo mentale e dirottarli. Se oggi utilizziamo la tastiera e gli schermi a sfioramento, tra un secolo i nostri discendenti potrebbero servirsi di interfacce dirette cervello-macchina. Ma per fare tutto ciò, per sviluppare il software capace di comunicare direttamente con il cervello, dobbiamo prima decifrarne il codice. Dobbiamo apprendere come i neuroni si attivano, risalendo ai loro messaggi.

### **Un caos cifrato**

Abbiamo già iniziato a scoprire i primi indizi sul funzionamento del codice del cervello. Forse il più importante di tutti è che, fatte salve alcune tra le creature più piccole, come il verme cilindrico *C. elegans*, l'unità fondamentale di comunicazione e codifica neuronale è lo *spike*, lo stimolo neuronale (o potenziale d'azione): l'impulso elettrico di circa un decimo di volt che dura poco meno di un millisecondo. Nel sistema della vista, per esempio, i raggi di luce che penetrano nella retina si traducono immediatamente in stimoli convogliati lungo il nervo ottico, un fascio di un milione di cavi in

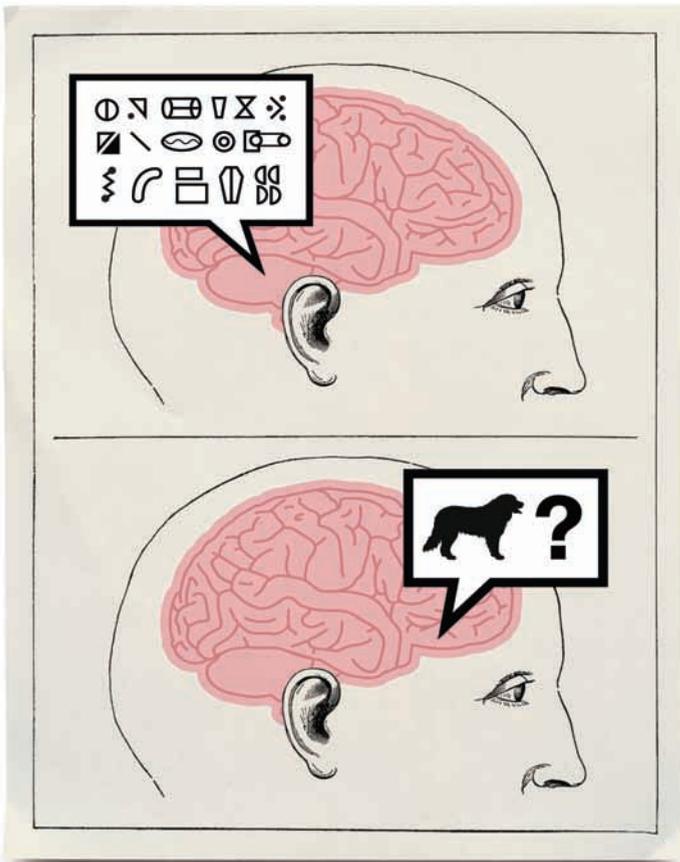


Illustrazione: Matt Dorfman

uscita, gli assoni, che conducono dall'occhio al resto del cervello. Tutto ciò che vediamo, letteralmente parlando, si basa su questi impulsi, che si attivano a ritmi variabili, in funzione della natura dello stimolo, fino a produrre diversi megabyte di informazione visiva al secondo. Il cervello nel suo insieme, per tutta la vita da svegli, è una autentica sinfonia di stimoli neuronali. Si stima possano essere mille miliardi al secondo. Potremmo affermare che decifrare il cervello significa interpretare i suoi impulsi.

La vera sfida è costituita dal fatto che il significato dei singoli impulsi varia a seconda del contesto. È ormai chiaro che difficilmente i neuro-scienziati potranno avere la stessa fortuna dei colleghi biologi molecolari. Se il codice della conversione dei nucleotidi in aminoacidi è quasi universale, viene cioè utilizzato sostanzialmente nello stesso modo in tutto l'organismo e nell'intero mondo naturale, il codice che traduce gli stimoli neuronali in informazione con tutta probabilità non è un unico codice, ma un insieme di codici, che differiscono in misura non trascurabile di specie in specie, persino tra le diverse parti del nostro cervello. Il cervello ha molte funzioni, dal controllo dei muscoli e della voce all'interpretazione della vista, dei suoni, degli odori che ci circondano e ogni tipo di problema necessita di un proprio codice.

Un confronto con i codici del computer aiuta a capire perché ci si debba attendere qualcosa del genere. Prendiamo per esempio il diffusissimo codice ASCII che rappresenta al computer 128 caratteri, comprese le cifre e il testo alfanumerico, utilizzato per comunicare attraverso la semplice posta elettronica "solo-testo".

Quasi tutti i computer moderni utilizzano il codice ASCII, che codifica la lettera A maiuscola come "100 0001", la B come "100 0010", la C come "100 0011" e così via. Quando si tratta di immagini, questo codice diventa inutile e si deve ricorrere a sistemi diversi. Le immagini bitmap non compresse, per esempio, assegnano stringhe di byte che rappresentano l'intensità dei colori rosso, verde e blu per ogni pixel della matrice che rappresenta l'immagine. Diversi codici servono a rappresentare la grafica vettoriale, i filmati, o i file audio.

Nel cervello la situazione appare molto simile. Al posto di un unico codice universale che scandisca il significato degli stimoli elettrici, sembra che ce ne siano tanti, in funzione del tipo di informazione da rappresentare. Il suono, per esempio, è intrinsecamente mono-dimensionale e varia rapidamente nel corso del tempo, mentre le immagini che scorrono attraverso la retina sono bi-dimensionali e tendono a cambiare a un ritmo più ponderato. L'olfatto, che dipende dalla concentrazione di centinaia di sostanze odorifere in circolazione nell'aria, fa affidamento su un altro sistema, completamente diverso. Certo, esiste anche qualche principio generale. Quello che conta non è tanto "quando" uno specifico neurone decide di "fare fuoco", di attivarsi, ma con quale frequenza lo fa; il tasso di attivazione è il parametro fondamentale.

Consideriamo per esempio i neuroni della corteccia visiva, l'area che riceve gli impulsi del nervo ottico attraverso un ripetitore all'interno del talamo. Uno specifico neurone della corteccia visiva potrebbe venire stimolato maggiormente da una linea verticale. Se la linea comincia a ruotare, la frequenza di attivazione di quel neurone varia: quattro stimoli nell'arco di un decimo di secondo se la linea rimane verticale, ma magari un solo *spike* nello stesso lasso di tempo se ruota di 45 gradi in senso antiorario. Ma non basta un singolo impulso per dire se il neurone sta rispondendo a una linea verticale o a qualcos'altro. Solo dal quadro d'insieme, dalla frequenza con cui il neurone si attiva nel corso del tempo, è possibile dedurre il significato della sua attività.

Questa strategia, la codifica sulla base della frequenza, viene utilizzata in modo diverso da diversi sottosistemi cerebrali, ma è comune a tutto il cervello. Molte sottopopolazioni di neuroni codificano specifici aspetti del mondo in modo simile, servendosi della frequenza di "sparo" per rappresentare una variazione di luminosità, velocità, distanza, orientamento, colore, tono musicale e persino la sensazione tattile di una puntura di spillo sul palmo della mano.

Per complicare ulteriormente le cose, gli *spike* trasmessi da diversi tipi di cellule codificano diversi tipi di informazione. La retina è una porzione di tessuto nervoso stratificata in modo molto intricato che riveste il fondo di ciascun occhio. Il suo compito è tradurre la pioggia di fotoni in arrivo in treni di impulsi elettrici in uscita. I neuro-anatomisti hanno identificato non meno di sessanta diversi tipi di neuroni nella retina, ciascuno caratterizzato da forma e funzione. Gli assoni di una ventina di diverse cellule retiniche formano il nervo ottico, l'unico canale di uscita dell'occhio. Alcune di queste cellule segnalano il moto lungo diverse direzioni cardinali; altre si specializzano nel segnalare la luminosità complessiva dell'immagine o il contrasto locale; altre ancora trasportano le informazioni riguardanti il colore. Ciascuna di queste popolazioni emette i propri flussi di dati, in parallelo, verso diversi centri di elaborazione a monte del percorso oculare. Per rico-

struire la natura dell'informazione codificata dalla retina, gli scienziati devono tracciare non solo la frequenza di attivazione di ogni singolo neurone, ma anche l'identità di ciascun tipo di cellula. Il numero di *spike* è privo di senso a meno di non conoscere da quali tra le varie cellule provengano.

Quello che vale per la retina, sembra valere per tutto il cervello. Nel complesso, potrebbero esserci fino a un migliaio di tipi di cellule neuronali nel cervello umano, ciascuna presumibilmente con un suo ruolo specifico.

## La saggezza della folla

Tipicamente, un codice di una certa importanza nel cervello coinvolge l'azione non di uno bensì di molti neuroni. Riconoscere un volto, per esempio, scatena l'attività di migliaia di neuroni nei settori di ordine più elevato della corteccia visiva. Ogni cellula risponde in modo un po' diverso, reagendo a un diverso dettaglio. Il significato più ampio dell'immagine inerisce alla risposta collettiva di tutte le cellule.

Una importante scoperta per la comprensione di questo fenomeno, noto come "codifica d'insieme", risale al 1986, quando Apostolos Georgopoulos, Andrew Schwartz e Ronald Kettner della Johns Hopkins University ricostruirono il modo in cui un insieme di neuroni della corteccia motoria delle scimmie riusciva a codificare la direzione in cui la scimmia muoveva un arto. Non c'era un unico neurone a determinare completamente la direzione dello spostamento, che presupponeva l'informazione risultante da un'intera popolazione di neuroni. Attraverso il calcolo di una sorta di media pesata di tutti i neuroni attivi, Georgopoulos e i suoi colleghi riuscirono a inferire con una certa affidabilità e precisione la direzione del braccio della scimmia.

Una delle prime esemplificazioni di quello che la neuro-tecnologia potrebbe riuscire a fare in futuro era partita proprio da questa scoperta. John Donoghue, neuro-scienziato della Brown University, ha utilizzato il concetto della codifica d'insieme per sviluppare dei decodificatori neurali che integrano software e elettrodi e sono in grado d'interpretare in tempo reale l'attività neuronale. Il gruppo di ricerca di Donoghue ha impiantato una struttura "a spazzola" di micro-elettrodi direttamente nella corteccia motoria di un paziente paralizzato per registrare l'attività neuronale mentre al paziente veniva chiesto d'immaginare vari tipi di attività motorie. Con l'aiuto di algoritmi che interpretavano questi segnali, il paziente poteva applicare i risultati per controllare un braccio robotico. Il controllo "mentale" di un arto robotizzato è ancora lento e incerto, ma la ricerca è una formidabile anticipazione degli sviluppi che possiamo attenderci.

Tra i codici fondamentali generati nel cervello di qualsiasi animale ci sono quelli utilizzati per individuare una posizione nello spazio. Come agisce il nostro GPS interiore? Come può uno schema di attività neuronale codificare l'idea del punto in cui ci troviamo? Un primo indizio importante risale agli inizi degli anni Settanta, con la scoperta di quelle che in seguito vennero definite cellule di posizione all'interno dell'ippocampo dei ratti. Questo tipo di cellule si attiva ogni volta che l'animale cammina o corre attraverso un ambiente conosciuto. In laboratorio, una cellula di posizione può attivarsi più frequentemente quando il ratto si trova vicino a un punto di diramazione di un labirinto; un'altra può rea-

**Tra i codici fondamentali del cervello di qualsiasi animale emergono quelli utilizzati per individuare una posizione nello spazio. Come agisce il nostro GPS interiore? Come può un tracciato di attività neuronali codificare la nostra posizione mentre ci muoviamo?**

gire più attivamente quando l'animale si avvicina all'ingresso. Edward e May-Britt Moser scoprirono un secondo tipo di codifica spaziale basata su quelle che oggi conosciamo come cellule di griglia. Questi neuroni si attivano maggiormente quando un animale si trova ai vertici di una immaginaria griglia geometrica che rappresenta il suo ambiente. Grazie a insiemi di queste cellule, l'animale è in grado di triangolare la propria posizione, anche al buio.

Altri codici ancora consentono agli animali di controllare le azioni che hanno luogo in un arco di tempo. Un esempio è il circuito responsabile della esecuzione delle sequenze motorie che sottostanno ai vocalizzi degli uccelli canterini. I fringuelli adulti maschi cantano per le femmine e ogni canto stereotipato dura solo qualche secondo. Un tipo di neuroni nell'ambito di una particolare struttura è in completa quiete fino al momento in cui l'uccello comincia a cantare. Ogniqualvolta l'uccello raggiunge un punto particolare della sua canzone, questi neuroni esplodono di colpo in un unico lampo di tre-cinque *spike* molto ravvicinati, per poi ricadere nel loro stato di quiete. Neuroni diversi si attivano di colpo in momenti diversi. Sembra che ogni singolo gruppo di neuroni stia codificando l'ordine temporale del canto.

## Il codice della nonna

Diversamente da una macchina per scrivere, in cui ogni singolo tasto individua una specifica lettera, il codice ASCII si serve di molteplici bit per determinare ogni lettera: è un esempio di ciò che un informatico chiamerebbe codice distribuito. In modo analogo i teorici hanno sempre immaginato che un concetto molto complesso potrebbe essere composto da singole "funzionalità"; il concetto "cane di montagna bernese" potrebbe essere rappresentato da neuroni che si attivano in risposta a nozioni come "cane", "amante della neve", "amichevole", "grande", "bruno e nero" e via dicendo. Collettivamente, una vasta popolazione di neuroni potrebbe rappresentare un concetto. Meno attenzione ha ricevuto l'ipotesi alternativa, la cosiddetta codifica isolata. Anzi, un tempo i neuro-scienziati scartavano decisamente questa opzione bollandola come "codifica cellulare della nonna". Il termine derisorio implicava un ipotetico neurone in grado di attivarsi solo quando il soggetto portatore stava guardando o pensando alla propria nonna: un concetto certamente assurdo, o così sembrava.

Recentemente tuttavia, uno degli autori di questo articolo ha contribuito alla scoperta di una variazione su questo tema. Sebbene non ci sia motivo di pensare che un singolo neurone del cervello possa rappresentare la nonna, ora sappiamo che i singoli neuroni (o gruppi comparativamente più ristretti) possono rappre-

sentare certi concetti con grande specificità. Le registrazioni ottenute con micro-elettrodi impiantati in profondità nel cervello di pazienti epilettici rivelano singoli neuroni che rispondono a stimoli molto specifici, come la vista di un volto familiare. Nell'uomo, un nome conosciuto può venire rappresentato da numero di neuroni che va da un minimo di cento fino a un milione di cellule dell'ippocampo e delle regioni confinanti.

Queste scoperte fanno pensare che il cervello è davvero in grado di cablare tra loro un gruppo di neuroni per codificare le cose importanti con cui viene ripetutamente a contatto, una sorta di stenografia neuronale che può risultare vantaggiosa per associare e integrare rapidamente nuovi fatti tra le conoscenze già acquisite.

### **Terra incognita**

Se le neuro-scienze hanno messo a segno un concreto progresso nel definire come un dato organismo codifichi le sue esperienze istante per istante, devono fare ancora parecchia strada verso la comprensione di come gli organismi riescano a codificare le loro conoscenze di lungo termine. Non sopravviveremmo a lungo se non potessimo acquisire nuove capacità, come l'orchestrata sequenza di azioni e decisioni che guidare l'automobile comporta. Eppure il preciso meccanismo che lo rende possibile rimane misterioso. Gli *spike* sono necessari, ma non sufficienti per tradurre l'intenzione in azione. La memoria di lungo termine, così come la conoscenza sviluppata nel momento di apprendere una nuova abilità, viene codificata in modo diverso, non con raffiche di impulsi elettrici in costante circolazione, ma con una ri-cablatura delle reti neurali. Ri-cablatura che avviene almeno in parte riplasmando le sinapsi che interconnettono i neuroni. Sappiamo che in questo sono coinvolti numerosi processi molecolari diversi, ma sappiamo ancora poco su come procedere a ritroso dal diagramma delle connessioni neurali al particolare dettaglio memorizzato.

Un altro mistero avvolge il modo in cui il cervello rappresenta frasi e costruzioni verbali. Anche se esiste un piccolo gruppo di neuroni che insieme definiscono concetti come "la nonna", è improbabile che il cervello abbia allocato specifici insiemi di neuroni a concetti complessi meno comuni, ma perfettamente comprensibili. Analogamente, sembra improbabile che il cervello dedichi a tempo pieno specifici neuroni alla rappresentazione di nuove costruzioni verbali. Al contrario, ogni volta che interpretiamo o produciamo una nuova frase, è probabile che il cervello integri numerose popolazioni neurali, combinando i codici relativi a elementi fondamentali (singole parole o concetti) all'interno di un sistema che rappresenti interi complessi di combinazioni. Al momento non abbiamo la minima idea di come ciò avvenga.

Una delle ragioni per cui è così difficile rispondere a certe domande sui procedimenti che il cervello adotta per codificare le informazioni, risiede nella immensa complessità di una struttura che contiene oltre 86 miliardi di neuroni interconnessi da un numero di collegamenti sinaptici stimato nell'ordine del milione di miliardi. Un altro motivo è che le nostre tecniche di osservazione continuano a essere molto approssimative. Lo strumento di indagine radiografica più diffuso per spiare all'interno del cervello è privo della sufficiente risoluzione spaziale per cogliere i singoli neuroni nell'atto di sparare i loro impulsi. Per studiare i sistemi di codifica neuronale propri dell'essere umano, come quelli utilizzati

**C'è qualche motivo di ottimismo. L'opto-genetica oggi consente agli scienziati di attivare o disattivare a piacimento, con fasci di luce colorata, classi di neuroni contrassegnati geneticamente, accelerando le ricerche sui codici cerebrali.**

nel linguaggio, avremo probabilmente bisogno di strumenti che ancora non sono stati inventati.

Vale anche la pena osservare che lo scopo dei neuro-ingegneri consiste in pratica nel riuscire a intercettare le comunicazioni interne del cervello per cercare di indovinarne il significato. Ma alcune di queste intercettazioni potrebbero risultare fuorvianti. Alcune potrebbero rappresentare degli "epifenomeni" accidentali che, pure rivelandosi utili in applicazioni ingegneristiche o cliniche, potrebbero ostacolare una piena comprensione del cervello.

Ciò nonostante possiamo essere ottimisti sul fatto che stiamo davvero muovendoci verso quei livelli di comprensione. Oggi l'opto-genetica ci consente di attivare e spegnere a piacimento, con un semplice raggio di luce, le classi di neuroni che abbiamo identificato. Una qualsiasi popolazione di neuroni che abbia un "codice di avviamento molecolare" univoco può venire marcata con una etichetta fluorescente e controllata in modo da attivarla o farla restare inattiva, con tempi precisi al millisecondo. Utilizzata oggi principalmente su mosche e topi, l'opto-genetica darà una grande accelerazione alla ricerca dei codici neuronali. Piuttosto che limitarsi a una semplice correlazione tra schemi di attivazione e comportamento, gli sperimentalisti saranno in grado di verificare gli effetti di una informazione direttamente sui circuiti cerebrali e sul comportamento di animali viventi.

La decrittazione dei codici neuronali è solo una parte della battaglia. Indovinare i molteplici codici del cervello non ci dirà tutto ciò che vogliamo sapere, ma costituisce un prerequisito fondamentale per la creazione di tecnologie utili a riparare o potenziare il cervello.

Prendiamo per esempio i recenti sforzi che usano l'opto-genetica per curare una forma di cecità causata da malattie degenerative, come la retinite pigmentosa, che attacca le cellule fotosensibili dell'occhio. Una strategia promettente sfrutta un virus iniettato nel globo oculare per modificare geneticamente le cellule ganglionari retiniche e renderle reattive alla luce. Una camera montata sugli occhiali potrebbe proiettare impulsi luminosi sulla retina e scatenare una attività elettrica nelle cellule geneticamente modificate, che a loro volta stimolerebbero direttamente il gruppo successivo dei neuroni, ripristinando la vista. Mano a mano che apprendiamo a comunicare con il cervello usando il suo stesso linguaggio, potrebbero dischiudersi nuove opportunità. ■

*Christof Koch è direttore scientifico dell'Allen Institute for Brain Science di Seattle. Gary Marcus, docente di psicologia della New York University e blogger per il "New Yorker", è co-curatore di Il futuro del cervello, di prossima pubblicazione.*

## IL NEURONE DEL LIBERO ARBITRIO

Le ricerche sui processi decisionali hanno mostrato che l'attività cerebrale collegata a tali processi precede l'azione cosciente, aprendo la strada a nuovi modi per esercitare il controllo su noi stessi.

**David Talbot**



Fotografia: Leonard Greco

**S**i trattava di un tentativo mai effettuato fino allora: l'accensione di un singolo neurone per creare uno stimolo, anche solo per un semplice compito, vale a dire muovere il dito indice, prima che il soggetto fosse consapevole di avere questa sensazione. Quattro anni fa, Itzhak Fried, un neurochirurgo della University of California, a Los Angeles, inserì alcune sonde, ognuna con otto elettrodi filiformi per registrare le attività dei singoli neuroni, nei cervelli di pazienti epilettici (questi pazienti si erano sottoposti a intervento chirurgico per diagnosticare la fonte dei ripetuti attacchi epilettici e avevano accettato di partecipare all'esperimento). Con le sonde in sede, ai pazienti, che erano coscienti, sono state fornite istruzioni per premere un pulsante ogni volta che effettuavano una scelta, ma è stato anche detto di riferire quando veniva loro in mente di farle.

Successivamente, Gabriel Kreiman, un neuro-scienziato della Harvard Medical School e del Children's Hospital di Boston, ha tratto le conclusioni dell'esperimento. Studiando attentamente i dati post interventi chirurgici su 12 pazienti, Kreiman ha scoperto che i flash segnalatori dei singoli neuroni nell'area motoria pre-supplementare (associata con il movimento) e della corteccia cingolata anteriore (associata con la motivazione e l'attenzione) precedevano il momento in cui veniva riferito lo stimolo di un tempo che oscillava tra le centinaia di milisecondi e diversi secondi. Si era di fronte a una diretta misurazione neurale del lavoro della mente inconscia, colta nell'atto di formulare una decisione volitiva, o una libera scelta. Kreimann e

i suoi colleghi stanno pianificando la ripetizione dell'esperimento, ma questa volta il loro obiettivo è di rilevare in tempo reale i segnali che precedono lo stimolo e fermare il soggetto prima che effettui l'azione, o almeno capire se tutto ciò è possibile.

Una serie di ricerche sull'imaging nell'uomo ha mostrato che l'attività cerebrale collegata al processo decisionario tende a precedere l'azione cosciente. Gli impianti nei macachi e in altri animali hanno permesso di esaminare i circuiti cerebrali coinvolti nella percezione e nell'azione. Ma Kreiman è andato oltre, misurando direttamente una decisione umana nella fase preconsceia a livello dei singoli neuroni. A essere precisi, la lettura dei dati fa riferimento a una media di soli 20 neuroni in ogni paziente (il cervello umano ha circa 86 miliardi di neuroni, dotati a loro volta di migliaia di connessioni). Inoltre, questi neuroni si sono attivati solo in risposta a una catena di eventi precedenti. Ma come la maggiore parte degli esperimenti che scandagliano il labirinto delle attività neurali legate alle decisioni – che coinvolgono il movimento di un dito o la scelta di mangiare, comprare qualcosa o uccidere qualcuno – la scienza può estrapolare i diversi passaggi dei processi decisori e, nell'ipotesi migliore, proporre terapie comportamentali o farmacologiche. «Dobbiamo capire le basi neuronali del processo decisionario volontario, o le decisioni prese liberamente, e le sue controparti patologiche, se vogliamo aiutare chi ha problemi di dipendenze da droghe, sesso, cibo e gioco, o pazienti con disturbo ossessivo compulsivo», sostiene Christof Koch, responsabile scientifico dell'Allen

Institute of Brain Science, a Seattle. «Molte di queste persone sono perfettamente coscienti di stare sbagliando, ma non riescono a fare a meno di tenere questi comportamenti».

Il 42enne Kreiman ritiene che il suo lavoro possa portare elementi di chiarezza su tematiche decisive nella storia del pensiero filosofico occidentale, come quella del libero arbitrio. Il neuro-scienziato, di origine argentina, è ricercatore alla Harvard Medical School ed è specializzato in riconoscimento visivo di oggetti e formazione della memoria, settori di studio in buona parte legati ai processi inconsci. Ha una zazzera di capelli neri e una tendenza a riflettere per lunghi istanti prima di rispondere a una domanda. Alla guida della sua Jeep, mentre attraversiamo Broadway, a Cambridge, in Massachusetts, Kreiman smanetta sul suo lettore MP3, passando da Vivaldi a Lady Gaga, a Bach. Nel fare questi movimenti, la sua mano sinistra scivola sul volante facendo leggermente oltrepassare alla macchina la doppia riga che divide la carreggiata. L'idea di Kreiman è che sono i suoi neuroni a spingerlo oltre la corsia e a correggere l'errore un istante più tardi. In altre parole, tutte le azioni sono il risultato di calcoli neurali e niente più. «La questione di fondo per me è sempre una. Le nostre decisioni sono veramente libere? Ho una posizione estrema sull'argomento. Credo che non ci sia nulla di realmente libero nel libero arbitrio. In ultima analisi, i neuroni obbediscono alle leggi della fisica e della matematica. Suona bene dire "Ho deciso", come siamo soliti affermare. Ma non c'è un *Deus ex machina*. Solo neuroni che si attivano».

Il pensiero filosofico sul libero arbitrio risale ad Aristotele ed è stato successivamente sistematizzato da Cartesio. Il filosofo francese sosteneva che gli uomini posseggono una "mente" concessa da Dio, separata dai corpi materiali, che ci rende capaci di scegliere liberamente una cosa piuttosto che un'altra. Kreiman parte da questo assunto, ammettendo che le nostre decisioni sono influenzate da evoluzione, esperienze, norme societarie, sensazioni e possibili conseguenze delle azioni. «Tutte queste influenze esterne sono fondamentali per decidere come comportarci», spiega Kreiman. «Facciamo esperienze, apprendiamo e possiamo modificare i nostri comportamenti».

Tuttavia, l'attivazione di un neurone che ci spinge in una o nell'altra direzione è alla fine il passaggio decisivo, sottolinea Kreiman. «Le regole che determinano le nostre decisioni sono simili a quelle che fanno cadere una moneta da una parte o dall'altra. In definitiva, è una questione fisica: nessuno può dire che la moneta "voleva" cadere da un lato. Non esiste alcuna volontà nella moneta».

### **Prove di libero arbitrio**

Soltanto negli ultimi 30-40 anni le tecnologie di imaging e le sonde hanno permesso di valutare quanto realmente accade nel cervello. Nei primi anni Ottanta, una pietra miliare della ricerca è stata lo studio di Benjamin Libet, ricercatore del dipartimento di fisiologia della University of California, a San Francisco. La sua ricerca cercava di mettere a confronto l'idea del libero arbitrio consapevole con i dati reali.

Libet sottopose alcuni soggetti a EEG, mentre si trovavano di fronte al timer di un oscilloscopio, che presentava variazioni ogni 2,8 secondi. Essi dovevano eseguire un'azione semplicissima,

come premere un pulsante o flettere un dito, guardando contemporaneamente il segnale sull'oscilloscopio. L'esperimento, rilevando lo scarto tra la consapevolezza del movimento e il movimento stesso, permise a Libet di stabilire con quale ritardo la coscienza d'un atto si ponga rispetto all'atto stesso. I dati mostrarono che l'effettiva attività cerebrale coinvolta nell'azione cominciava, in media, 300 millisecondi prima che il soggetto fosse cosciente della sua volontà di premere il pulsante. Anche se alcuni scienziati ne hanno criticato i metodi – mettendo in dubbio, tra l'altro, l'accuratezza della fase di auto-valutazione dei soggetti – lo studio ha aperto la strada a una discussione su come fare ricerche ancora più risolutive sul problema. Da allora, si è privilegiata l'fMRI (la risonanza magnetica funzionale) per mappare le attività cerebrali misurando il flusso sanguigno, e altri studi hanno valutato i processi delle attività cerebrali che avvengono prima di assumere una decisione. Ma anche se l'fMRI ha trasformato le conoscenze scientifiche del cervello, si tratta pur sempre di uno strumento indiretto, con risoluzioni spaziali molto basse, che opera una media dei dati di milioni di neuroni. Lo schema della ricerca di Kreiman replica quello di Libet, con l'importante aggiunta della misurazione dei segnali del singolo neurone.

Quando la carriera di Libet era al suo apice, Kreiman era un ragazzo. Da studente di chimica fisica all'Università di Buenos Aires, era interessato ai neuroni e al cervello. Durante il suo dottorato al Caltech, la sua passione si rafforzò sotto la guida di Koch, il suo tutor, che lavorava in stretta collaborazione con Francis Crick, uno degli scopritori della struttura del DNA, alla ricerca di conferme all'ipotesi che la coscienza fosse rappresentata dai neuroni. Per un ragazzo proveniente dall'Argentina, «si trattava di un'esperienza che cambiava radicalmente la vita», ricorda Kreiman. «Qualche decennio fa, si riteneva che gli scienziati seri non dovessero affrontare un problema marginale come questo, ma pensare a temi di ricerca degni del Nobel». Crick, per l'appunto vincitore del Nobel, ha ipotizzato che la comprensione di come il cervello elabora l'informazione visiva fosse un modo per studiare la coscienza (noi ci serviamo dei processi inconsci per decifrare rapidamente scene e oggetti) e ha collaborato con Koch a numerosi studi importanti. Kreiman faceva riferimento a questi lavori. «Ero entusiasta della possibilità di approfondire gli aspetti fondamentali della cognizione, della coscienza e del libero arbitrio con un approccio riduzionista, vale a dire in termini di neuroni e circuiti di neuroni», dice Kreiman.

Una cosa mancava: delle persone disposte a farsi aprire la testa e manipolare il cervello dagli scienziati. Alle fine degli anni Novanta, come responsabile di una pubblicazione interna che si occupava di recensire le ultime novità della letteratura scientifica, Kreiman si trovò dinanzi un articolo di Fried su come fare ricerca con pazienti con elettrodi impiantati nei cervelli per identificare la fonte di seri attacchi epilettici. Prima di leggere l'articolo di Fried, «pensavo che l'esame delle attività neuronali fosse esclusivamente esercitato su scimmie, ratti e gatti, non certo su esseri umani», spiega Kreiman. Crick presentò Koch a Fried, e in poco tempo Koch, Fried e Kreiman collaborarono a studi sulle attività neurali umane, incluso l'esperimento sulla misurazione diretta dello stimolo a muovere il dito. «Si apriva una nuova fase della ricerca sull'azione volontaria e il libero arbitrio», afferma Koch.



All'interno del cervello, elettrodi come questo registrano le attività neurali.  
Fotografia: Bruce Peterson

## Le decisioni migliori

Un dibattito perenne in ambito filosofico è stabilire se si possa parlare di libero arbitrio nel caso che le nostre scelte siano determinate da un qualsiasi agente interno o esterno. Hilary Bok, una filosofa della Johns Hopkins University, sostiene che molti pensatori moderni – forse la maggiore parte – credono che la libertà di decidere sia effettiva, anche se i processi neurali spingono all'azione. «L'idea che una scelta possa essere predeterminata – anche da qualcosa che accade nel nostro cervello – è stata presente già da prima che i neuro-scienziati spiegassero nei dettagli i meccanismi del pensiero», spiega Bok. La libertà non prevede la presenza di un “fantasma nella macchina”; potremmo avere uno spazio di libertà qualora si dimostrasse che i nostri circuiti neurali ci forniscono la capacità di soppesare le diverse opzioni e di scegliere quelle giuste. «Sono convinta della necessità di questi esperimenti», continua la filosofa, «ma non credo che abbiano ancora dimostrato qualcosa di decisivo sul libero arbitrio».

Ciò che è veramente importante in questi esperimenti, aggiunge Bok, è che aiutano a spiegare il comportamento umano. Un giorno si potrà anche arrivare a proporre delle terapie, ma al momento i dati non lo permettono. Si prenda il caso di James Fallon, un neuro-scienziato della University of California, a Irvine, che ha scoperto come la sua risonanza magnetica funzionale presentasse forti somiglianze con quelle di noti psicopatici, mostrando bassi livelli di attività nelle aree cerebrali associate con l'autocontrollo e l'empatia. Fallon ha descritto come stia facendo uno sforzo cosciente per modificare le sue decisioni e i suoi comportamenti quotidiani. «Quando penso alla libera volontà, una componente essenziale è la capacità di avere una qualche forma di controllo sulle nostre azioni», dice Bok.

Anche se è ancora ai primi stadi, il lavoro di Kreiman può favorire questo tipo di comprensione, sostiene Patricia Churchland, una filosofa della University of California, a San Diego. A suo parere, le neuro-scienze possono fare luce sulle classiche tematiche filosofiche. Churchland ritiene che gli esperimenti contribuiscano a chiarire come le decisioni vengano assunte o modificate, aiutando a spiegare perché alcune persone abbiano difficoltà a gestire i propri impulsi dopo una lesione cerebrale. «Le spiegazioni sono lontane dall'essere complete, ma alcuni risultati offrono delle indicazioni promettenti», dice Churchland. «L'autocontrollo è del tutto legato alle attività cerebrali. Se l'autocontrollo è una componente chiave della libera scelta, allora siamo effettivamente dotati di libero arbitrio. Da una serie di dati emerge abbastanza chiaramente che esistono significative differenze neurali tra chi ha la capacità di bloccare le azioni o differire le gratificazioni e chi non riesce a farlo».

**Siamo davvero in grado di decidere liberamente? Secondo Gabriel Kreiman, non vi è nulla di davvero libero nel libero arbitrio. In ultima istanza i neuroni obbediscono alle leggi della fisica e della matematica.**

Anche Kreiman è convinto delle potenzialità dello studio del processo decisionale, ma sfugge alla mia domanda su come le sue ricerche potrebbero favorire lo sviluppo di nuovi farmaci o terapie: «Il problema principale a livello scientifico è la comprensione del meccanismo con cui vengono prese le decisioni volontarie: dove, quando e come vengono assunte». In questa ricerca, Kreiman può contare su un nuovo collaboratore: Ed Boyden, un neuro-scienziato del MIT che ha ideato strumenti originali per l'analisi dei circuiti cerebrali. Tra i diversi progetti, Boyden sta sperimentando nei topi sonde neurali più dense del tessuto circostante, che hanno la capacità di registrare simultaneamente le attività di un numero di neuroni 100 volte superiore a oggi.

Questa tecnologia permetterà agli scienziati di identificare molti dei neuroni coinvolti nella produzione di uno stimolo. «Se raggiungiamo questo risultato, le conseguenze si sentiranno a ricaduta su tutti gli altri progetti», dice Kreiman. In particolare, sarà avvantaggiato chi sta lavorando alla mappatura dei circuiti cerebrali. Con strumenti così avanzati, invece di attivare un singolo neurone, si potrà osservare la rete di segnali elettrici che porta a questo risultato. Allora sarà forse possibile vedere cosa accade, per esempio, quando si accende il neurone che fa muovere il dito. «Se si riescono a mappare le attività neurali e assistere a come dinamicamente i neuroni generano un “prodotto”, sarà come vedere dall'interno il processo decisionale», spiega Boyden. «Sarebbe fantastico riuscire a comprendere come le emozioni, le sensazioni e le memorie lavorano insieme».

Mentre Kreiman non crede nel libero arbitrio, Boyden ritiene che i meccanismi dell'autocontrollo risiedano nei circuiti che lo guidano attraverso Broadway e nella vita. Egli vuole scoprirli, ma concede che anche se succedesse oggi, «stasera tutto andrebbe nello stesso modo». Potrebbe essere che l'illusione di una volontà libera sia parte integrante del complesso di connessioni e non se ne possa fare a meno. ■

David Talbot è collaboratore di MIT Technology Review USA.

## Domande e risposte: Rebecca Saxe

Oltre un decennio fa, la neuro-scienziata Rebecca Saxe ha scoperto un'area cerebrale che sviluppa una "teoria della mente", vale a dire una valutazione di quello che gli altri stanno pensando e provando.

**Courtney Humphries**

**L**a capacità di capire cosa stanno pensando o provando le altre persone è fondamentale per l'interazione sociale e caratterizza l'esperienza umana. Non è quindi affatto sorprendente che il cervello umano dedichi buona parte delle sue risorse alla cosiddetta "cognizione sociale". Tuttavia, solo recentemente, le neuro-scienze hanno cominciato a individuare quali aree cerebrali sono coinvolte nei processi di pensiero che riguardano gli altri.

La comprensione di come il cervello percepisce e interpreta le altre persone potrebbe permettere di migliorare le terapie per l'autismo e altre malattie che sono legate a disturbi dell'interazione sociale. La conoscenza della struttura cerebrale favorirà anche lo sviluppo di computer più avanzati nello svolgimento di compiti "sociali". Rebecca Saxe, attualmente ricercatrice del Center for Minds, Brains, and Machines del MIT, torna in questa intervista sugli aspetti "pratici" della cosiddetta empatia.

### **La cognizione sociale è territorio esclusivo degli esseri umani?**

Ci sono più ragioni per credere che sia effettivamente così. Gli uomini sono la specie con il maggiore tasso di socialità, a parte gli insetti. Le nostre elaborate vite sociali e le nostre complesse capacità cognitive rendono unica la cognizione sociale umana.

### **Come si fa a ritrovarne traccia nel cervello?**

Nessuna tecnica invasiva. Né ingegneria genetica, né opto-genetica, niente del genere. Ci limitiamo a quelle che sono chiamate tecnologie di neuro-immagine non invasive,

la più conosciuta delle quali è la risonanza magnetica funzionale, che utilizza il flusso sanguigno come indice dell'attività neurale.

### **In questo modo potete vedere quali aree cerebrali sono attive quando le persone riflettono su cosa prova qualcun altro?**

Credo che per molti aspetti sia stata la scoperta più importante e sorprendente delle neuro-scienze cognitive umane. Tutte le aree visive cerebrali, sensorie e del controllo motorio, erano state in qualche modo previste. Ma sul cervello sociale non si erano elaborate particolari ipotesi. Negli ultimi dieci anni abbiamo provato a comprenderne lo sviluppo, a definire come circola l'informazione in queste aree cerebrali, a comprendere l'interazione con le altre regioni del cervello.

### **Si è verificato se sono queste aree a non funzionare bene nelle persone affette da autismo?**

Questa è l'ipotesi che abbiamo cercato di approfondire. Forse chi è affetto da autismo prova a risolvere i problemi sociali con meccanismi utili in situazione di altro tipo, invece di mettere in moto le risposte appropriate ai diversi contesti. Non abbiamo però alcuna prova che sia così. L'autismo si è rivelato un problema decisamente complesso da interpretare, a ogni livello di analisi.

### **Le sue ricerche potranno favorire lo sviluppo dei computer sociali?**

Noi siamo in grado di confrontarci con situazioni del tutto diverse e rifletterci sopra, scegliendo tra una sconfinata serie di possibilità. Eppure la struttura cognitiva che abbiamo a disposizione è limitata. Allora quali sono gli ingredienti giusti? Se riusciremo a individuarli, potremo capire come la combinazione di questi ingredienti genera la capacità umana, infinitamente riproducibile.

### **In che modo i computer potranno svolgere questi compiti d'interazione sociale?**

Sarà essenziale tradurre queste parole in concetti più astratti: obiettivi, desideri, pro-



Fotografia: Jared Leeds

getti. Insieme al mio collega Josh Tenenbaum sono impegnata da anni a definire un tipo di rappresentazione matematica di quello che significa pensare a qualcuno con un piano o un obiettivo in mente, in modo tale che questo modello possa includere i giudizi su cosa vuole una persona in un contesto relativamente semplice.

### **Indubbiamente, si tratta di un percorso molto differente da quello di un computer che visiona milioni di esempi alla ricerca di schemi sottostanti.**

Non c'è dubbio. Non stiamo parlando di big data, ma del tentativo di descrivere le strutture della conoscenza. Sono sempre stati ritenuti due campi contrapposti, ma la mia impressione è che ci sia un terreno d'incontro, vale a dire lo sviluppo di rappresentazioni probabilistiche che "apprendono" dai dati.

### **Ma la prospettiva di replicare la cognizione sociale nei computer è ancora al di là da venire?**

In effetti, la meta non è a portata di mano e probabilmente non ci sarà più quando verrà raggiunta. Ma l'aspetto positivo è che c'è ancora tanto lavoro da fare e che sappiamo come farlo. ■

*Courtney Humphries è collaboratrice di MIT Technology Review USA su argomenti di biologia e medicina.*

## Domande e risposte: Joseph LeDoux

Il processo di consolidamento della memoria può alterarne il funzionamento. Alcune ricerche affascinanti sono state condotte da Joseph LeDoux, che dagli anni Settanta, si è dedicato allo studio delle emozioni.

Brian Bergstein

**Q**uando si ha a che fare con lo studio della memoria è come se ci trovassimo in una sorta di età dell'oro. I ricercatori si pongono affascinanti quesiti su cosa sia veramente la memoria e su come sia possibile manipolarla. Alcuni scienziati stanno modificando i cervelli dei topi di laboratorio, in modo tale da impiantare delle memorie artificiali o rimuovere determinati ricordi. Altri stanno esplorando la possibilità di potenziare la memoria. Questo tipo di ricerche spesso suonano bizzarre, ma in realtà potrebbero condurre a soluzioni per prevenire la demenza, neutralizzare i disturbi post traumatici da stress, ridurre l'ansia, curare la depressione o combattere la tossicodipendenza.

La grande parte di questi studi è possibile, perché i neuro-scienziati hanno capito che la memoria è molto più malleabile di quanto si ritenesse in precedenza. Pensiamo per esempio a qualcosa che abbiamo fatto tanto tempo fa, in un pomeriggio assoluto, quando eravamo bambini. La nostra memoria comincia a frugare dappertutto alla ricerca di questo ricordo, ce lo mostra e poi lo ripone via intatto, allo stesso modo in cui riporremmo una fotografia dentro un baule in soffitta? Per decenni la risposta più frequente è stata affermativa: i ricordi più vividi vengono "consolidati" nel cervello e vi restano immutati. Ma oggi sembra vero l'esatto contrario: ogni qualvolta ricordiamo qualcosa, il nostro cervello riscrive o "riconsolida" la memoria. Il ricordo che abbiamo di un qualunque pomeriggio assoluto della nostra infanzia è semplicemente una versione dell'ultima volta che lo abbiamo ricordato.

Una delle sconcertanti implicazioni è che la manipolazione del processo di consolidamento può alterare la memoria e cambiare il modo in cui si ricorda. Alcune fra le ricerche più affascinanti su questa teoria sono state condotte da Joseph LeDoux, un neuro-scienziato che dagli anni Settanta si è dedicato allo studio delle dinamiche che generano emozioni nel cervello. Negli ultimi anni con i suoi colleghi ha verificato se la somministrazione di un ansiolitico a persone che ricordano un evento traumatico, possa ridurre lo stato di ansia provocato dai ricordi successivi. Se funzionasse potrebbe essere una delle tante opportunità per ridisegnare la memoria, come ha dichiarato LeDoux, nel suo ufficio di New York.

**La somministrazione di un farmaco ai pazienti durante il consolidamento di un ricordo fa pensare a una terapia avanzata per disturbi post traumatici da stress e per altri disordini.**

L'idea è tuttora attuabile. Non è ancora chiaro quale possa essere il farmaco in grado di attivare il meccanismo nell'uomo.

**Non potrebbe essere un ansiolitico come il propanololo, che è stato impiegato in altri esperimenti?**

Sappiamo che questo farmaco funziona molto bene nei topi. Nell'uomo è stato registrato qualche successo, ma al momento non sembra rappresentare una valida soluzione.

**Quali sono le probabilità di migliorare la memoria delle persone affette da demenza, o anche semplicemente quella di ognuno di noi?**

La questione che ci troviamo ad affrontare ogni qualvolta si ha a che fare con un'insufficienza della memoria, di qualunque tipo essa sia, è la seguente: si tratta dell'incapacità di recuperare un ricordo che esiste o è piuttosto il ricordo che non è più disponibile e quindi non c'è alcun modo di recuperarlo? La stessa cosa vale senz'altro per i problemi di memoria. Non riusciamo

a ricordare qualcosa, in qualche modo sembra davvero impossibile, ma due ore più tardi riaffiora dalla memoria. Ci sono dei ricordi nel nostro cervello che non è semplice recuperare. È qui, credo, dove è possibile intervenire. Si può fare qualcosa per favorire il processo di recupero della memoria.

**Cosa si può dunque fare?**

La cosa più banale è che si tratti di un problema di lento risveglio della memoria. Sappiamo che le situazioni dense di emozioni sono probabilmente più facili da ricordare, rispetto a quelle ordinarie. In buona parte ciò è dovuto al fatto che nelle situazioni emotivamente più coinvolgenti vengono rilasciate delle sostanze chimiche chiamate neuro-modulatori, in grado di migliorare il processo di archiviazione della memoria. Il cervello è più attento e reattivo. Tutti i meccanismi sono funzionanti e tutti gli ingranaggi ben oleati.

**Dunque potrebbe essere possibile progettare delle vitamine per il cervello in grado di favorire un analogo potenziamento?**

Gli effetti dei neuro-modulatori possono venire simulati attraverso l'assunzione di farmaci, in grado di replicare la stessa situazione. Oppure, se vogliamo ricordare qualcosa, è necessario inserirlo all'interno di un contesto significativo. In altre parole occorre renderlo rilevante, attraverso un'associazione di pensiero che conferisca un valore aggiunto positivo o negativo, oppure facendo qualcosa che aumenti il nostro livello di eccitazione, come per esempio, l'esercizio fisico.

**Può essere possibile una memoria artificiale, ovvero un dispositivo introdotto nel cervello in grado di recuperare ricordi perduti, in un paziente affetto da demenza o che abbia subito danni al cervello?**

Il DARPA (l'agenzia di R&S dell'esercito americano) sembra procedere a passo spedito con la ricerca su queste tecnologie. Progettano d'impiantare dei chip dentro il cervello. Si tratterebbe di una sorta di protesi artificiale che, invece di consentire il movimento di un arto, tenta di recuperare la memoria. Non ho idea di come possano riuscirci.



Fotografia: Adam Lerner

### **Non conosciamo ancora la strada per arrivarci?**

Io non la conosco. La memoria, prima di tutto, non è concentrata in un'unica area, ma con molta probabilità è distribuita attraverso molteplici aree del cervello, in milioni di sinapsi. Pertanto non ho idea di come sia possibile riconfigurarla o ripristinarla. Non so come sia possibile ristabilire i corretti modelli di connessione. Non credo sia possibile recuperare i ricordi perduti. Ma probabilmente è possibile recuperare in parte alcune funzioni per immagazzinare nuovi ricordi.

### **I disturbi della memoria rappresentano una questione molto complessa. Hanno a che fare con la nostra vera essenza. Trovare la cura per i disturbi post-traumatici da stress sarebbe fantastico, ma non si rischierebbe che le persone vengano trasformate in automi?**

O mostri privi di paura. Ci sono sempre delle implicazioni di carattere etico. Ma dovrei semplicemente tenerle fuori. Quando abbiamo pubblicato per la prima volta lo studio sul consolidamento della memoria, qualcuno scrisse una recensione

su "New York Times" chiedendosi cosa comporterebbe per un superstite della Shoà, che ha vissuto cinquanta anni con questi terribili ricordi, l'improvvisa cancellazione della memoria della Shoà stessa. Siamo ciò che siamo nel presente. Dopo ulteriori studi siamo giunti alla conclusione che paziente e analista dovrebbero demolire gradualmente un ricordo fino al punto in cui si sentono in grado di farlo. Gli studi indicano che questo metodo riduce l'eccitazione, rimuove l'aspetto emotivo dalla situazione, piuttosto che cancellare il ricordo stesso. L'altro aspetto della questione è che è anche possibile potenziare i ricordi. Così abbiamo eseguito degli studi sui topi, somministrando loro del propranololo, che indebolisce la memoria. Ma se somministriamo l'isoproterenolo (che produce l'effetto opposto sui neuro-stimolatori del cervello) la memoria si rafforza. Se abbiamo un metodo per potenziarla, la memoria, una volta recuperati i ricordi, diventa più potente ed efficace.

### **In quale circostanza le persone vi ricorrerebbero?**

In generale le persone che hanno una memoria debole, non riescono a ricostruire molto bene i ricordi. Nel caso in cui venga loro somministrato un basso dosaggio di isoproterenolo, potrebbe essere possibile aumentarlo un poco. Potremmo inoltre consentire ai pazienti delle esperienze positive attraverso un'iniezione di isoproterenolo e fare in modo che conservino il ricordo di queste, piuttosto che di quelle negative.

### **Sareste in grado di costruire in queste persone una maggiore quantità di ricordi positivi?**

Sì, esatto.

### **Immagino che ciò potrebbe essere di aiuto alle persone per combattere la depressione.**

Per quanto ne so, non è mai stato fatto. Ma sarebbe senz'altro fattibile.

### **Allora perché non è mai stato fatto?**

Io ho avuto l'idea un po' di tempo fa, ma poi è come se mi fosse passata di mente. Forse prima o poi mi deciderò a fare qualcosa. ■

*Brian Bergstein è vicedirettore di MIT Technology Review USA.*

## Domande e risposte: Antonio Damasio

Per decenni, i biologi hanno mostrato uno scarso interesse per le emozioni e i sentimenti. Ma Antonio Damasio, uno dei più noti neuro-scienziati mondiali, ne ha dimostrato la fondamentale importanza.

Jason Pontin

**L'**intuizione di fondo di Damasio è che i sentimenti sono «esperienze mentali di stati corporei», che si formano quando il cervello interpreta le emozioni, a loro volta stati fisici legati alle risposte dell'organismo agli stimoli esterni. L'ordine degli eventi sarebbe il seguente: sono spaventato, ho paura, provo una sensazione di panico. Damasio ha indicato che la coscienza, sia essa il primitivo «nucleo cosciente» degli animali, sia essa il concetto esteso di autocoscienza degli esseri umani, richiedendo la presenza di una memoria autobiografica, emerge dalle emozioni e dai sentimenti.

La sua ipotesi, che risale agli inizi degli anni Novanta, derivava dagli studi clinici delle lesioni cerebrali in pazienti che, in possesso di buone capacità di pensiero, non erano però in grado di prendere decisioni valide per la precarietà del loro stato emotivo. Queste ricerche sono state rese possibili dagli studi neuro-anatomici di sua moglie, Hanna Damasio, che figura spesso come co-autrice dei suoi lavori. Le loro ricerche hanno sempre posto grande attenzione ai progressi della tecnologia. Più di recente, le tecniche di *neuroimaging* funzionale, che misurano il rapporto tra processi mentali e attività in alcune aree del cervello, hanno permesso ai Damasio di sviluppare le loro conoscenze in ambito neuro-anatomico.

Docente di neuro-scienze alla University of Southern California, Damasio ha scritto quattro agili testi per spiegare la sua ricerca al grande pubblico e collegare

le sue scoperte alle domande di fondo della filosofia. Egli ritiene che la ricerca neuro-biologica debba conseguire delle finalità prettamente filosofiche: «La voce degli scienziati non deve limitarsi a registrare la vita così come appare», ha scritto in un libro su Cartesio. «Se sapremo dove guardare, una migliore conoscenza del cervello e della mente ci aiuterà a diventare più felici».

**Quando era un giovane scienziato alla fine degli anni Settanta, lo studio delle emozioni veniva tenuto ai margini della ricerca.**

Spesso ci dicevano: «Vi state mettendo in un vicolo cieco. Non ne tirerete fuori nulla». Venivamo guardati dall'alto in basso.

**Perché?**

William James aveva parlato delle emozioni in modo articolato e intelligente, ma le sue idee (principalmente che le emozioni sono la mappatura cerebrale degli stati corporei, come verificato sperimentalmente da Damasio) avevano sollevato numerose controversie agli inizi del XX secolo, che non avevano portato da nessuna parte. I ricercatori erano sostanzialmente convinti che le emozioni non costituissero un elemento sufficientemente distintivo, perché anche gli animali le provano. Il loro ragionamento era che agli animali mancano il linguaggio, la ragione o la creatività, quindi le ricerche dovevano approfondire queste caratteristiche. In effetti, è vero che molte creature sulla faccia della terra provano qualcosa che si può definire emozione o sentimento, ma la sostanziale differenza con gli esseri umani risiede nel modo di utilizzare queste risorse.

**Si riferisce al fatto che l'uomo ha coscienza di se stesso?**

Esattamente. Ciò che distingue gli esseri umani è la capacità di utilizzare i fondamentali processi che regolano la vita, in particolare le emozioni e i sentimenti, in collegamento con le attività intellettuali, in modo da creare prospettive originali.

**Che cosa l'ha portata a interessarsi alle emozioni come campo di ricerca?**

Sono in buona parte debitore alle mie passioni per la musica e la letteratura. Lo studio delle emozioni rappresentava la via maestra per mettere insieme cosa era importante per me con quello che pensavo avesse un valore scientifico.

**A quali conclusioni è giunto?**

Ci sono alcuni programmi di azioni che sono permanentemente radicati nei nostri organi e nei nostri cervelli, permettendoci di sopravvivere, crescere, procreare e, infine, morire. Questa tendenza naturale al raggiungimento di un equilibrio interno, l'omeostasi, che comprende un largo spettro di stati corporei, è al centro del mio lavoro. Un piano d'azione si mette in moto sia quando siamo assetati e cerchiamo dell'acqua, sia quando abbiamo paura perché ci sentiamo minacciati. Una volta che il piano d'azione viene dispiegato e il cervello ha la possibilità di registrare cosa è avvenuto nell'organismo, allora emerge lo stato mentale. Durante il piano d'azione legato alla paura, una serie di eventi accadono nel mio corpo, che mi modificano e mi spingono a comportarmi in un determinato modo, al di là della mia volontà. Mentre tutto ciò mi sta accadendo, ho una rappresentazione mentale del mio stato corporeo così come ho una rappresentazione mentale di cosa mi ha provocato la sensazione di paura.

**Dunque, la nascita del sentimento, del tutto differenziato dalla semplice emozione, è vincolata alla consapevolezza che qualcosa sta avvenendo nell'organismo?**

Proprio così. Per me, è molto importante separare l'emozione dal sentimento. Dobbiamo dividere le componenti legate alle azioni da quelle legate alla prospettiva di queste azioni, cioè il sentimento. È durante questo processo che emerge il "sé" e l'auto-consapevolezza. La mente si sviluppa a partire dal sentimento. Mi sento di affermare che quando si prova un sentimento (anche se si è neonati), si può cominciare a parlare di mente e coscienza di sé.

**Ma ciò non implica che solo le creature dotate di auto-coscienza mentale possano provare sentimenti profondi?**



Fotografia: Brad Swonetz

No. Io sono convinto che anche il minuscolo cervello di un insetto – sempre che abbia la capacità di rappresentare i suoi stati corporei – possa provare delle sensazioni. In effetti, sarei sbalordito se scoprissi che non ne prova affatto. Ovviamente, alle mosche manca la sovrastruttura intellettuale per costruire intorno a queste sensazioni il tipo di opere che hanno caratterizzato la storia dell'uomo: la fondazione di ordini religiosi, le forme d'arte, i poemi letterari. Gli animali non possono, ma noi sì. Nell'uomo, la consapevolezza dei sentimenti ha portato alla creazione di prodotti che sono una risposta a questo modo di sentire.

**Ma gli animali hanno coscienza delle loro risposte alle sensazioni che provano? I cani sono consapevoli di quello che provano?**

Certamente. Senza dubbio i cani provano delle sensazioni.

**Intendevo una cosa diversa: non se i cani abbiano delle sensazioni, ma se siano coscienti di queste sensazioni, cioè se abbiano consapevolezza di provare dei sentimenti.**

Non saprei. Ho dei seri dubbi.

**Ma l'uomo ha una consapevolezza piena di quello che prova.**

Sì. Siamo coscienti dei nostri sentimenti e delle sensazioni piacevoli e spiacevoli a essi associate. Ogni giorno ci misuriamo con stimoli fisiologici di base: desideri, fame, sete, dolore.

**Quanta parte della nostra civiltà è dedicata al controllo di questi istinti fondamentali? Spinoza dice che la politica cerca di regolare questi istinti per garantire il bene comune.**

Non avremmo avuto musica, arte, religione, scienza, tecnologia, economia, politica, giustizia e filosofia morale senza la spinta di fondo dei nostri sentimenti.

**Le persone provano emozioni nello stesso modo a prescindere dalla cultura di appartenenza? Per esempio, chiunque ascolti una melodia classica in tonalità minore prova una sensazione di malinconia?**

Ne sappiamo abbastanza per rispondere di sì. Al Brain and Creativity Institute (che Damasio dirige), abbiamo condotto degli studi interculturali sulle emozioni. All'inizio pensavamo di trovare schemi molto diversi, soprattutto riguardo alle emozioni sociali. In realtà non è stato così. Se si studiano le popolazioni cinesi, americane o iraniane le risposte appaiono molto simili. Ci sono sfumature nel modo in cui alcuni stimoli suscitano risposte emotive di differenti intensità, ma la presenza di tristezza o gioia presenta una uniformità prettamente umana.

**Le nostre emozioni potranno venire amplificate con impianti o altre tecnologie di interfacce cerebrali?**

Se saremo in grado di capire i processi neurali sottostanti a ognuna di queste funzioni complesse, la possibilità di interven-

to è sempre presente. Ovviamente, ci interfacciamo con le funzioni cerebrali di continuo, per esempio con una dieta, con gli alcolici, con le terapie. Di per sé gli interventi chirurgici non saranno portatori di grandi novità. Ciò che li renderà innovativi sarà la capacità di agire direttamente su un obiettivo mirato. In realtà, però, il vero problema è di ordine morale, per le situazioni che potrebbero venire a crearsi.

**In che senso?**

Tutto dipende da cosa si vuole ottenere con un determinato tipo di intervento. Per esempio, se si volesse riattivare la capacità di muovere un arto, o di vedere o di ascoltare, si creerebbero dei problemi di ordine morale? Assolutamente no, direi. Ma se si andasse a interferire con stati cerebrali che influenzano la sfera decisionale? Allora si entrerebbe in una sfera decisamente privata.

**Quale è stata la tecnologia che ha permesso una migliore comprensione delle basi biologiche della coscienza?**

Le tecnologie di imaging hanno offerto un contributo decisivo, anche se sono del tutto consapevole dei loro limiti.

**Se potesse avere a disposizione una tecnologia ideale, quale sceglierebbe?**

Non mi fermerei a tecnologie settoriali, perché credo che i meccanismi complessi si possano comprendere solo dall'interazione tra più livelli. Ci sono studiosi che hanno passato buona parte delle loro vite ad approfondire sistemi, come nel caso mio e di mia moglie e di quanti lavorano nel nostro laboratorio di ricerca. Noi ci occupiamo degli aspetti neuro-anatomici e sconfiniamo occasionalmente nel mondo cellulare. Al momento, stiamo valutando le funzioni degli assoni (fibre nervose cerebrali) e avremo la necessità di applicare i risultati delle nostre ricerche a livelli sempre più alti.

**Allora, quale tecnologia sarebbe più adatta?**

Non saprei. Credo che sia ancora da inventare. ■

*Jason Pontin è direttore editoriale di MIT Technology Review USA.*

## UNA LUCE NEL BUIO DELLA FOLLIA

Interi decenni sono trascorsi dall'ultima, sensazionale scoperta nel campo del trattamento farmacologico della malattia mentale. Ma gli sviluppi della genetica del cervello e gli strumenti di ricerca acquisiti nel frattempo potrebbero dare un nuovo impulso alla ricerca di cure più efficaci.

**David Rotman**

**L**aboratori di ricerca Novartis di Cambridge, Massachusetts. Un'ingombrante apparecchiatura che ricorda un'incubatrice, sta contribuendo a fare nascere una nuova era nella ricerca farmacologica in campo psichiatrico. All'interno dell'apparecchiatura, immersi in una luce tenue, alcuni piatti di laboratorio contenenti cellule staminali di origine umana; metodicamente, braccia robotizzate irrorano i piatti di sostanze nutritive. Grazie a una serie di tecniche perfezionate nel corso degli ultimi anni nei laboratori di tutto il mondo, queste cellule staminali – quindi capaci di evolversi in cellule specializzate – si possono ricavare direttamente dalla pelle. Quando all'interno dell'incubatrice si trovano cellule estratte da individui affetti, poniamo, da autismo o schizofrenia, i ricercatori di Novartis riescono a indurle, variando con estrema precisione il tipo di sostanze che alimentano la coltura, a trasformarsi in cellule cerebrali del tutto funzionali.

Gli scienziati non stanno dando vita a veri e propri neuroni autistici, o schizofrenici, perché le cellule non agiscono nei circuiti del cervello, ma dal punto di vista della scoperta di nuovi farmaci questo è il migliore surrogato possibile. Per la prima volta, i ricercatori dispongono di un modo per analizzare direttamente, a livello molecolare, quanto non funziona dentro le cellule cerebrali dei pazienti che soffrono di queste patologie. Per un'azienda farmaceutica è vitale che oggi esista un modo per sottoporre a screening i principi attivi potenzialmente utili. I neuroni patologici hanno un aspetto diverso da quelli normali? C'è un difetto nel modo in cui stabiliscono le loro connessioni? I farmaci possono correggere queste anomalie? La risposta a ciascuna di queste domande è un sì, anche se molto preliminare.

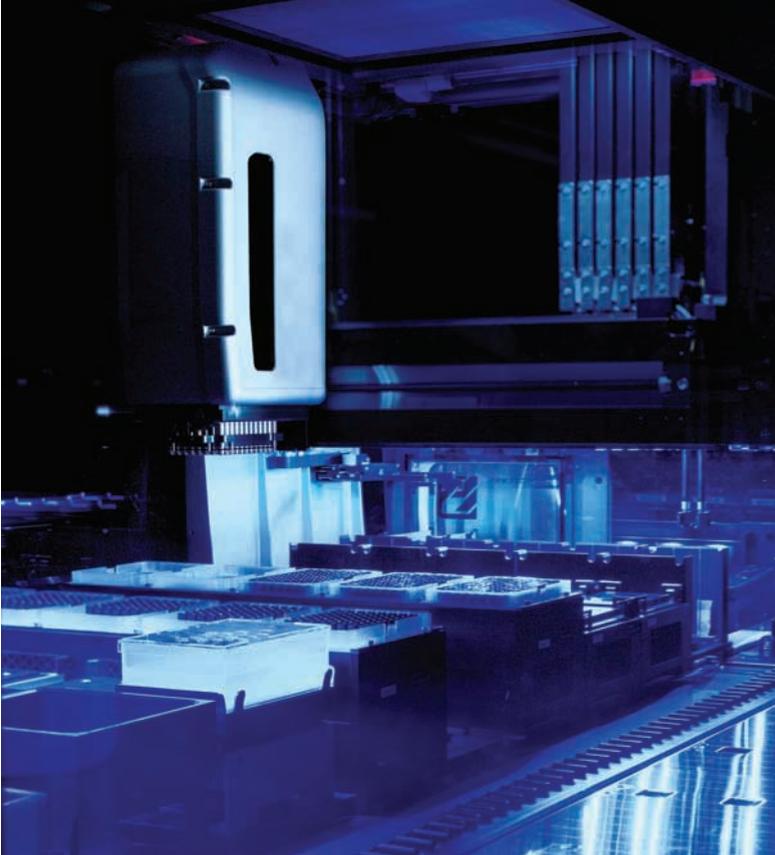
La tecnica è talmente promettente da avere convinto Novartis a riprendere il percorso di scoperta di nuovi farmaci psichiatrici dopo avere sostanzialmente abbandonato le ricerche. Non solo, ma il suo

avvento coincide con un'epoca in cui la nostra conoscenza delle basi genetiche dei disturbi cerebrali si estende rapidamente e altre strumentazioni, tra cui l'opto-genetica, ci consentono di sondare direttamente il cervello. Tutti questi sviluppi concorrono a rinnovare la speranza che la scienza riesca finalmente a scovare terapie più efficaci per milioni di persone colpite da devastanti disturbi mentali.

Una rinascita della ricerca farmaceutica in ambito psichiatrico è attesa da molto tempo: da quasi 50 anni non sono state annunciate medicine radicalmente nuove per nessuna delle malattie mentali più frequenti, come la schizofrenia, i disturbi bipolari, o la depressione grave. Tra gli anni Quaranta e Sessanta una serie di scoperte del tutto casuali, a incominciare dal fatto che il litio poteva alleviare i problemi dei pazienti bipolari, ha trasformato il modo di trattare la malattia mentale. Fu in quel periodo che divenne possibile placare le allucinazioni e le fissazioni della schizofrenia, o somministrare farmaci utili per la depressione. L'inattesa disponibilità di un sollievo farmacologico trasformò anche la scienza medica ed ebbe un ruolo nella successiva chiusura degli affollati ospedali psichiatrici di allora. Ma poi, quasi di colpo come era iniziata, la rivoluzione entrò in stallo.

Molti dei farmaci scoperti negli anni Cinquanta e Sessanta sono rimasti i trattamenti più efficaci in casi di schizofrenia e sindromi ansiose e depressive. Ma se questi medicamenti hanno migliorato la qualità della vita di alcuni pazienti, su altri si sono rivelati inefficaci e restano drammaticamente inadeguati nella cura di molti dei sintomi più acuti. Come se non bastasse, si tratta di farmaci che possono avere gravi effetti collaterali.

Prendiamo per esempio la schizofrenia. Gli antipsicotici attualmente in circolazione possono fare scomparire allucinazioni e fissazioni, ma non migliorano i cosiddetti deliri di negazione, il venire meno di emozioni come il piacere, che rende gli individui apati-



Un'incubatrice dei laboratori di Novartis per la crescita delle cellule staminali. Gli scienziati traggono queste cellule dai pazienti e, a determinate condizioni, le inducono a diventare neuroni per la ricerca e l'analisi dei farmaci. *Fotografia: Adam DeTour*

ci e poco interessati alla comunicazione o addirittura alla vita. Questi stessi farmaci non hanno effetto sull'impatto che la schizofrenia può avere sulla concentrazione, la capacità di decidere e la memoria funzionale (critica, in attività come la comprensione delle lingue). Problemi cognitivi così disabilitanti impediscono alle persone di lavorare e rendono arduo fare le più semplici scelte di tipo logico, richieste dalla quotidianità. Sono sintomi insidiosi, che possono colpire gli individui più abili, spesso alla fine della loro adolescenza. «La gente non capisce», afferma Guoping Feng, docente di neuroscienze al MIT e studioso delle basi neurologiche dei disturbi di tipo psichiatrico. «Una volta che un paziente ha assunto le sue medicine antipsicotiche, ci si chiede perché non possa presentarsi al lavoro. Ma [chi è affetto da schizofrenia] non può lavorare perché non può contare sulle proprie funzioni cognitive, non può prendere decisioni normalmente. E per tutto ciò non ci sono farmaci». Invece, ci sono gli effetti collaterali delle terapie antipsicotiche, tra cui si possono annoverare disturbi motori di tipo parkinsoniano, drastici aumenti di peso, o perdita potenzialmente letale di globuli bianchi nel sangue. In breve, la malattia distrugge le vite di molti pazienti.

Infine, molte persone che soffrono di disturbi mentali non ricevono benefici dai farmaci attualmente disponibili. Gli antidepressivi funzionano bene per determinate persone e non fanno nulla per altre, né esistono trattamenti farmacologici efficaci per le disabilità di tipo sociale o per i comportamenti ripetitivi provocati dall'autismo.

Nel complesso, la malattia neuropsichiatrica è una delle principali cause di disabilità. Secondo il National Institute of Mental Health, di Rockville, nel Maryland, il 26 per cento degli americani adulti soffre di un "disturbo mentale diagnosticabile". Negli Stati Uniti il più comune di questi disturbi, la depressione grave, è la principale causa di disabilità tra gli individui di età compresa

tra i 15 e i 44 anni. Circa l'1 per cento della popolazione americana soffre di schizofrenia; a un bambino su 68 vengono diagnosticati disturbi dello spettro autistico.

Sebbene il bisogno di terapie più efficaci sia una necessità incontrovertibile, le Case farmaceutiche fino a pochissimo tempo fa avevano in pratica esaurito le loro idee. I farmaci sviluppati negli anni Cinquanta e Sessanta erano stati scoperti per caso, e nessuno sapeva come o perché funzionassero. Nel corso dei decenni successivi, i ricercatori in campo farmaceutico hanno provveduto a retro-ingegnerizzare quei medicamenti per identificare le molecole su cui agivano sostanze come la dopamina e la serotonina. Tuttavia, oggi gli scienziati comprendono che se intervenire sui livelli di quelle sostanze consente di affrontare i sintomi dei disturbi psichiatrici, si tratta sempre di una strategia molto rozza, che ignora i meccanismi biologici che sottendono alla malattia.

«Studiando quei farmaci siamo stati portati ad accertare che depressione significa avere una carenza di circa un quarto di serotonina e che schizofrenia vuole dire avere in pancia troppa dopamina», sostiene Thomas Insel, direttore dell'NIMH. «Ma il cervello non funziona affatto così. Il cervello non è una scodella di minestra; in realtà è una complessa rete di reti». Malattie mentali come la schizofrenia, la depressione, i disturbi bipolari, precisa Insel, «sono fondamentalmente disturbi che investono i circuiti cerebrali». Solo da pochi anni a questa parte, aggiunge, tecnologie come l'opto-genetica hanno permesso ai neuroscienziati di spostare la loro attenzione dalla "minestra alle scintille", o impulsi elettrici, per iniziare a studiare i circuiti interessati da queste patologie. Comunque sia, afferma ancora Insel, le ricerche sui possibili trattamenti vanno a rilento a causa «della nostra profonda ignoranza sul cervello».

Un altro evidente ostacolo alla scoperta di farmaci più efficaci è la scarsità di affidabili metodi di screening. Poiché i ricercatori avevano una limitata capacità di misurare come una potenziale molecola psichiatrica vada a impattare sulla biologia delle cavie di laboratorio, Steven Hyman, direttore dello Stanley Center for Psychiatric Research presso il Broad Institute of Harvard and MIT, spiega che sono stati escogitati test basati sull'effetto dei farmaci esistenti sul comportamento animale. Un artificio utilizzato per valutare un antidepressivo, per esempio, è il cosiddetto "test del nuoto forzato". Quando un topo al quale sia stata somministrata della imipramina, un farmaco comunemente utilizzato, inventato negli anni Cinquanta e tuttora considerato come uno dei più efficaci per la depressione, viene immerso in un secchio di acqua fredda, cercherà di stare a galla più a lungo prima di soccombere. La propensione dell'animale a smettere di lottare è stata razionalizzata in un parametro di misura della "disperazione comportamentale", ma non c'è nessuna prova che il comportamento durante il test rifletta in qualche modo la depressione nell'uomo. Sebbene questo tipo di esperimento sia utilizzato da cinquant'anni per testare i farmaci antidepressivi e sia tuttora molto in voga, è probabile che la sua unica funzione sia quella di selezionare i farmaci che riescono a mimare gli effetti della imipramina, consentendo a un roditore di nuotare più a lungo. Tutto ciò ha portato a una serie di farmaci "per imitazione".

La scoperta di nuovi farmaci psichiatrici «è pericolosamente ferma», aggiunge Hyman: in termini di efficacia, gli antidepressivi hanno raggiunto un picco negli anni Cinquanta mentre nel decen-

**«Si è stabilito che la depressione comporta una carenza di circa un quarto di serotonina e che schizofrenia vuole dire avere troppa dopamina. Ma il cervello non funziona affatto così: non è una scodella di minestra».**

nio successivo è stata la volta degli antipsicotici. Anche se alcuni nuovi medicinali psichiatrici sono entrati in commercio nei decenni più recenti, afferma Richard A. Friedman, docente di psichiatria clinica e direttore della clinica psicofarmacologica presso il Weill Cornell Medical College di New York, si tratta semplicemente di derivati molecolari di rimedi cronologicamente più vecchi. Alcuni di questi nuovi farmaci sono in qualche misura più sicuri, aggiunge, ma essenzialmente le Case farmaceutiche si limitano a «ritoccare sempre le stesse molecole». Data la scarsità di idee su nuovi farmaci potenzialmente più efficaci e l'elevata percentuale di fallimenti delle medicine psichiatriche nella costosa fase di sperimentazione clinica – appena l'8 per cento delle sostanze ha successo, rispetto alla media del 15 per cento dei farmaci in generale – non c'è da stupirsi che, per dirla con Friedman, le aziende farmaceutiche «si ritrovino con i piedi al freddo».

Nel 2011, in effetti, Novartis ha annunciato l'intenzione di chiudere il centro di Basilea dedicato alla ricerca di base in ambito psichiatrico. Questa non è stata la sola azienda che abbia smobilitato nel settore. Nel corso degli ultimi cinque anni altre Case farmaceutiche, tra cui GlaxoSmithKline e AstraZeneca, hanno ridotto i loro sforzi e disinvestito nel ramo delle neuroscienze e del relativo sviluppo di nuove molecole. La decisione di Novartis è tuttavia particolarmente degna di nota perché la scoperta di farmaci psichiatrici ha avuto un ruolo molto importante nella storia di questa azienda. Negli anni Sessanta, la Sandoz, che nel 1996 si fuse con Ciba-Geigy dando luogo a Novartis, era stata determinante nella messa a punto della clozapina, a tutt'oggi uno dei farmaci più efficaci per le forme più gravi di schizofrenia. La stessa Ciba, altra progenitrice svizzera di Novartis, aveva introdotto la imipramina fino dagli anni Cinquanta.

Oggi, a Cambridge, Novartis è tornata a fare ricerca. A Ricardo Dolmetsch, responsabile globale per le neuroscienze dell'azienda, è affidato il compito di tradurre quella che egli stesso definisce come la recente rivoluzione degli strumenti su base genetica e genomica, in farmaci sicuri ed efficaci. Dolmetsch, che in passato è stato docente di neuroscienze a Stanford, è entrato in Novartis nell'estate del 2013 e ha subito fatto partire le assunzioni. In meno di un anno, i suoi colleghi hanno già avviato vari esperimenti, tra pile di contenitori in plastica montati su rotelle, mentre il laboratorio è ancora in fase di allestimento. Malgrado il senso di eccitazione che si avverte in tutto il gruppo di ricerca, Dolmetsch parla con toni molto misurati: «Oggi abbiamo gli strumenti giusti per un nuovo tentativo».

## Rompicapi mentali

I geni difettosi hanno un ruolo significativo nel determinare i disturbi di natura cerebrale. Se uno di due gemelli identici è affetto da schizofrenia, l'altro ha una probabilità compresa tra il 40 e il 65 per cento di avere la stessa malattia; tra normali consanguinei la chance si riduce al 10 per cento. Le statistiche riguardanti l'autismo e il disturbo bipolare sono analoghe. Pur essendo meno determinanti nella depressione rispetto ad altre patologie, i geni possono avere un ruolo critico anche per questa condizione. Ma come osserva Hyman, l'esperto del Broad Institute, solo negli ultimi anni i ricercatori hanno cominciato a rendersi conto della complessità del fattore genetico. Negli anni Novanta, mentre era alla guida della NIMH, riferisce Hyman, a lui e ad altri colleghi appariva già chiaro che non può esistere un unico gene della schizofrenia o dell'autismo. «Al massimo avrei pensato a una ventina di geni, per estrema ipotesi a un centinaio, ma ci siamo sbagliati di grosso».

Fino a oggi, gli scienziati hanno identificato centinaia di varianti genetiche associate a un incremento del rischio di schizofrenia e Hyman ritiene possibile che si possa arrivare a un migliaio. Alcune di queste mutazioni sono piuttosto comuni, mentre altre, più rare, sembrano provocare gli stessi sintomi sperimentati da soggetti con un insieme completamente diverso di mutazioni altrettanto poco frequenti. Inoltre, diverse varianti sembrano determinare diverse percentuali di rischio e gli studi più recenti hanno mostrato come una molteplicità di disturbi, inclusi la schizofrenia e l'autismo, condividano un certo numero di geni potenzialmente "colpevoli". Hyman lo definisce un rompicapo, un gioco a incastro infinitamente complesso.

Pensare che l'estrema complessità genetica dei disturbi mentali possa influire positivamente sulle possibilità di scoprire nuovi farmaci dipende molto dal pessimismo o dall'ottimismo di ciascuno, afferma Pamela Sklar, che dirige il dipartimento di genomica psichiatrica della Icahn School of Medicine presso l'ospedale Mount Sinai di New York. L'approccio convenzionale alla ricerca farmacologica rivolta alle patologie con forte componente genetica consiste nell'identificare il gene che provoca o ha un ruolo determinante nella malattia e sperimentare i composti che contrastano la proteina codificata. Questo approccio non ha tuttavia molta probabilità di funzionare con le malattie mentali, considerando che queste sono determinate dalla combinazione di tante varianti genetiche. La Sklar è ovviamente incline all'ottimismo e suggerisce che proprio il numero di varianti offre maggiori probabilità di identificare i traccianti critici coinvolti in una data patologia e più opportunità per individuare forme di intervento.

La speranza è che tutte queste varianti genetiche possano influenzare un insieme condiviso di traccianti molecolari, tipi di cellula, o specifici neuro-circuiti. Ciò aiuterebbe gli scienziati a puntare precisamente su quello che non funziona e potrebbe anche fornire loro nuovi obiettivi da perseguire per eventuali terapie. La Sklar, che è specializzata nella ricerca delle cause genetiche della schizofrenia e dei disturbi bipolari, riconosce che malgrado i rapidi progressi registrati nel corso degli ultimissimi anni, sussistono tuttora grossi deficit di comprensione: «Non conosciamo ancora tutti i fattori di rischio e, disponendo di così pochi pezzi del rompicapo, continua a essere difficile sapere come mettere tutto insieme».



Ricercatori come Amit Etkin a Stanford (a sinistra) e Kay Tye (a destra) al MIT ritengono che una migliore comprensione dei circuiti e delle connessioni neurali sia determinante per la scoperta di terapie più efficaci per i disturbi psichiatrici. *Fotografia: Leah Fasten e Adam DeTour*

## I costi della malattia mentale

L'indice DALY (attesa di vita corretta per patologia) è una unità di misura utilizzata in sanità per esprimere il numero di anni persi in conseguenza di cattivo stato di salute, disabilità o morte prematura.

Patologia	indice DALY (in milioni di anni)
Disturbi depressivi unipolari	65
Disturbo bipolare affettivo	14
Schizofrenia	17
Epilessia	8
Abuso di sostanze alcoliche	24
Alzheimer e altre forme di demenza	11
Abuso di droghe	8
Disturbo da stress post-traumatico	3
Disordine ossessivo-compulsivo	5

Fonte: Harvard School of Public Health e Forum Economico Mondiale (2011)

## Spesa in farmaci psichiatrici

Malgrado la scarsità di terapie efficaci per molti disturbi mentali, la richiesta di farmaci è molto elevata.

Classe del farmaco o indicazioni terapeutiche	Vendite su scala globale
Antipsicotici	22 miliardi di dollari
Antidepressivi	20 miliardi di dollari
Ansiolitici	11 miliardi di dollari
Stimolanti	5,5 miliardi di dollari
Demenza	5,5 miliardi di dollari
Disturbi del sonno	4,5 miliardi di dollari
Abuso di sostanze e tossicodipendenza	3 miliardi di dollari

Fonte: Science Translational Medicine (2012), dati riferiti al 2010

A questo mistero genetico si aggiunge il fatto che nel cervello abbiamo circa 86 miliardi di neuroni e circa un milione di miliardi di sinapsi (i punti di interconnessione tra i neuroni) ed è del tutto evidente lo sforzo sovrumano che sarà necessario per capire le cause delle malattie mentali. È una delle ragioni per cui la possibilità di estrarre delle cellule da un paziente e trasformarle in neuroni ha messo in fibrillazione la comunità scientifica. Finalmente i ricercatori dispongono di un metodo che permette loro di osservare direttamente in che modo le varianti genetiche abbiano influito sui neuroni di un paziente affetto da una malattia. Forse non si conosceranno tutti i dettagli dei fondamenti genetici, ma se non altro sarà possibile guardare ai risultati. Inoltre, nuove tecniche di riscrittura del genoma rendono fattibile modificare con precisione i geni delle cellule staminali da cui si coltivano i neuroni, aggiungendo proprio le mutazioni associate alle patologie e osservando il loro impatto sui neuroni coinvolti.

Ma come funzionerebbero questi neuroni se fossero inseriti nel cervello vero e proprio, con le sue immense reti di circuiti e collegamenti? In che misura le mutazioni genetiche implicate in disturbi come la schizofrenia e l'autismo vanno a influire su quei circuiti fino ad alterarne il comportamento? Le ultime ricerche cercano di dare una risposta proprio a queste domande.

Con l'arrivo dell'estate, una colonia di scimmie uistiti, primati originari del Sud America, si è insediata nei laboratori del McGovern Institute for Brain Research del MIT. Scimmie e esseri umani hanno in comune una corteccia prefrontale molto sviluppata. Secondo Feng, ricercatore del MIT, sarebbero sempre più consistenti le prove che fanno risalire a questa area del cervello le numerose e incurabili carenze legate alla schizofrenia e i deficit a livello di comunicazione sociale e comportamento, che riguardano l'autismo.

Per cominciare a dipanare il mistero di queste "mancanze", Feng e i suoi colleghi prevedono di utilizzare la riscrittura del genoma per allevare una generazione di scimmie caratterizzate da precise mutazioni associate ai disturbi di natura psichiatrica. Inizialmente, gli scienziati si concentreranno su una rara mutazione di un gene chiamato SHANK3. Trattandosi di un insolito esempio di unico gene in grado di determinare una evidente alterazione di tipo autistico del comportamento, rappresenta un facile punto di partenza. Le successive generazioni di scimmie potrebbero maturare molteplici mutazioni scoperte nella maggior parte delle forme di autismo e schizofrenia.

Rispetto ai roditori, i cui circuiti cerebrali sono molto meno simili ai nostri, i primati possono risultare più affidabili per testare eventuali farmaci psichiatrici. L'idea non è quella di generare animali affetti da schizofrenia o autismo – la complessa miscela di comportamenti umani devianti non può venire realmente replicata, nemmeno negli altri primati – bensì osservare come le mutazioni genetiche possano modificare i circuiti a livello molecolare e come anche il comportamento degli animali ne risulti alterato. «Il comportamento può non essere lo stesso dell'uomo», riconosce Feng, «ma almeno disporremo di un valore da misurare. Diventerebbe la conferma che possiamo riparare i circuiti e che un cambiamento può portare a un miglioramento comportamentale».

## Non c'è motivo di preoccuparsi

Il topolino si rifugia in un angolo del labirinto. Anche dalle immagini sul video dell'esperimento, la sua ansietà appare palpabile quando l'animale si schiaccia tutto contro una parete. Al cranio del topo è collegata una sottile fibra ottica. Di colpo, dopo che un lampo di luce blu attraversa la fibra, il topo comincia a guizzare qui e là, esplorando i quattro rami del labirinto con rinnovata energia e coraggio.

L'invenzione dell'opto-genetica ha rivoluzionato lo studio dei circuiti neuronali. Ma persino nell'insieme dei notevole studi basati su questa tecnologia, la sperimentazione condotta sui topi da Kay Tye nel 2011, durante il suo post-dottorato a Stanford, spicca per la sua peculiarità. La Tye, divenuta nel frattempo ricercatrice del MIT, aveva dimostrato di riuscire ad "accendere" e "spegnere" l'ansia con un semplice interruttore. Anche se il suo bersaglio intenzionale era una parte del cervello chiamata amigdala, nota per essere coinvolta in emozioni come la paura e l'ansietà, la Tye afferma di essere stata sorpresa «da quanto potesse essere repentino e massiccio il cambiamento. Era quasi istantaneo. Ero sbalordita. Ha cambiato per sempre il mio modo di pensare il cervello».

Sarà possibile tradurre in effettive terapie la maggiore conoscenza della "circuiteria" e della connettività cerebrale, nonché del loro ruolo a livello emotivo? I ricercatori potranno mai trovare modi efficaci e sicuri per intervenire su questi circuiti dentro al cervello dei pazienti, in modo da riparare i guasti che si sono verificati?

L'opto-genetica, almeno nella sua versione attuale, non sembra il sistema giusto per farlo. La tecnica richiede una manipolazione genetica delle cellule che gli scienziati intendono attivare e l'impiego invasivo di fibre ottiche inserite nel cervello. Ecco perché è quasi del tutto limitata alla ricerca su roditori, a parte qualche occasionale esperimento sui primati. Al momento l'opto-genetica non è una tecnologia in grado di intervenire direttamente su un circuito cerebrale malfunzionante, e forse non lo sarà mai. Ma impiegata come strumento di ricerca, potrebbe mettere a disposizione dei farmacologi ciò di cui hanno disperatamente bisogno: dei bersagli molecolari. Ricercatori come la Tye o Feng sono convinti che le loro sperimentazioni opto-genetiche possono servire per identificare specifici tipi di cellula nei circuiti coinvolti da determinate sintomatologie psichiatriche. In seguito il loro obiettivo sarà individuare, in quelle cellule, i marcatori distintivi che consentono il riconoscimento da parte di un farmaco. È un approccio estremamente promettente; risultati recenti indicano infatti che è possibile evidenziare le cellule critiche che fungano da bersaglio alle sostanze farmaceutiche. Ma la ricerca sta solo muovendo i suoi primi passi.

Un'alternativa è cercare di intervenire direttamente sui circuiti, saltando l'impiego di farmaci. Nel caso del Parkinson, una terapia di routine consiste nell'impiantare una matrice di elettrodi nel cervello del paziente per calmarne il tremito muscolare. La tecnica viene chiamata stimolazione encefalica profonda e i ricercatori della Emory University stanno provando ad adattarla anche al trattamento della depressione, inserendo un elettrodo in una regione del cervello chiamata Area 25. Altri si servono della stimolazione encefalica profonda nel trattamento del disturbo ossessivo-compulsivo, con risultati incoraggianti.

Potrebbe anche essere possibile influire direttamente sui circuiti difettosi senza ricorrere alla chirurgia. Amit Etkin, ricercatore di

## Sarà possibile tradurre in effettive terapie la maggiore conoscenza di circuiti e della connettività cerebrale, nonché del loro ruolo in emozioni come l'ansia? I ricercatori troveranno dei modi efficaci e sicuri per intervenire?

psichiatria a Stanford, utilizza una combinazione di risonanza magnetica funzionale (RMNf) e stimolazione magnetica non invasiva per mappare i circuiti cerebrali che funzionano male. Il suo scopo è di adattare la stimolazione magnetica, già ampiamente utilizzata per curare i casi più intrattabili di depressione, agli specifici problemi di tipo neuro-circuitale.

La terapia, somministrata attraverso una bobina elettromagnetica applicata sul cranio, sfrutta gli impulsi magnetici per generare una corrente elettrica in grado di aumentare o ridurre l'attività cerebrale. La versione commerciale di questa tecnica è stata pensata per raggiungere la stessa ridotta porzione di corteccia prefrontale in tutti i pazienti, ma combinandola con un apparato di indagine radiografica Etkin spera di dirigere lo stimolo in maniera più precisa. Non sarà una cura miracolosa. Ma a sostenere il suo sforzo, rivela Etkin, è la frustrazione di non essere in grado di offrire ai malati opzioni più efficaci.

Etkin si serve di diversi metodi per aiutare i suoi pazienti, tra cui farmaci, psicoterapia e stimolazione magnetica. Il segreto per rendere tutti questi approcci ancora più efficaci, è imparare a conoscere meglio il meccanismo per cui un circuito o una connessione neuronale difettosi possono indurre i comportamenti aberranti. Nel tentativo di risolvere questi problemi, «cerco di non essere troppo partigiano in relazione alla tecnica di cura». Il lavoro con i pazienti non rappresenta solo un incentivo per la ricerca di una terapia migliore, aggiunge, ma è anche fonte di insegnamento sui limiti pratici della cura: «Moltissimi studi scientifici sembrano perfettamente sensati, ma esiste un divario rispetto a quello che si può fare nel mondo reale. E a volte è una distanza notevole».

## Caccia al farmaco

A Novartis, Ricardo Dolmetsch cerca di colmare il divario tra un esplosivo aumento della conoscenza scientifica dei disturbi mentali e la disponibilità di farmaci più efficaci. La sua prognosi è improntata al realismo: «Spero che sia una storia fatta di successi, ma ancora non lo sappiamo. Ci vuole molto tempo».

Dolmetsch non somiglia in niente al tipico manager di *big pharma*. Meno di un anno fa era ancora alla guida di un laboratorio a Stanford e il suo lavoro consisteva nel costruire una libreria di neuroni estratti da pazienti autistici destinata all'Allen Brain Institute di Seattle. Il suo profilo Web sul sito di Stanford – ufficialmente oggi è in aspettativa dall'università – riflette tuttora il suo carattere eccentrico. Dalla pagina partono link a vari episodi che raccontano delle sue "stravaganze" e dei suoi tentativi di pendolarismo a bordo di un bastone a molla nei primi giorni all'università.



Ricardo Dolmetsch spera di riaccendere la corsa allo sviluppo di nuovi farmaci psichiatrici in Novartis, facendo leva sulle scoperte nel campo della genetica e delle cellule staminali. *Fotografia: Adam DeTour*

Una decina di anni fa le sue ricerche ebbero una drastica svolta. A Stanford era partito indagando sulle questioni fondamentali della biochimica della cellula cerebrale, un lavoro sufficientemente importante per diventare ricercatore. Ma proprio allora, nel 2005, a suo figlio fu diagnosticato l'autismo. Frustrato dalla mancanza di terapie, Dolmetsch ristrutturò il suo laboratorio in funzione della ricerca di questo disturbo. Da allora ha contribuito a sperimentare i metodi che partendo dalle cellule di soggetti autistici, le riprogrammano fino a farle ritornare allo stato staminale e le inducono a evolvere in neuroni dei quali studiare le anomalie. È questa la tecnologia che, insieme alle rivoluzionarie novità che hanno investito la genetica grazie al sequenziamento rapido e a basso costo del DNA, farà da perno agli sforzi che Novartis sta conducendo per individuare nuovi farmaci psichiatrici.

«Grazie a essa possiamo partire dal paziente», spiega Dolmetsch. Mentre gli oncologi possono da tempo contare sulla possibilità di effettuare la biopsia dei tumori, «non si possono scavare buchi dentro al cervello e prelevare un campione. Ma oggi possiamo fare una biopsia partendo dalle cellule staminali». Spingendosi in questa direzione, i ricercatori di Novartis si stanno preparando a sviluppare degli «organoidi», cervelli in miniatura coltivati su un piatto di Petri mano a mano che i neuroni maturano e si uniscono a formare strutture tridimensionali. I ricercatori potranno non solo dare la caccia alle anomalie, ma anche vagliare l'efficacia, su questi neuroni, delle sostanze che popolano la vasta libreria di potenziali farmaci costituita da Novartis.

**Non è chiaro se e come la conoscenza sempre più estesa dei problemi che possono intervenire a livello cerebrale in chi soffre di disturbi psichiatrici potrà portare a nuovi presidi terapeutici. Ma oggi i ricercatori dispongono degli strumenti necessari.**

Progettare un farmaco capace di mirare esattamente un determinato circuito cerebrale sembra una opportunità più remota. «Ci siamo fatti una vaga idea del tipo di cellule e regioni del cervello che dobbiamo inibire o attivare per rendere alcuni più felici e altri meno ansiosi. Non abbiamo più bisogno di curare il cervello come una massa indistinta di molecole mediatrici», spiega Dolmetsch. Ma rimane ancora tutta da affrontare la titanica sfida dello sviluppo di un farmaco in grado di attivare selettivamente certi tipi di cellula in determinati circuiti. «Come si può fare?», si chiede Dolmetsch. «Nessuno finora c'è riuscito». E aggiunge: «È un traguardo che la ricerca farmacologica non ha ancora raggiunto, ma la direzione è quella».

Dolmetsch ha scelto di arruolarsi nell'industria farmaceutica perché si è reso conto che i progressi messi a segno da scienza e tecnologia hanno creato i presupposti per lo sviluppo di una nuova generazione di farmaci psichiatrici. Dopo anni di ricerca accademica ha capito che per mettere sul mercato un nuovo farmaco occorrono risorse, denaro e popolazioni di pazienti accessibili solo ad aziende come Novartis.

Eppure, il fatto di non essere riusciti a scoprire nuovi farmaci più efficaci per i disturbi mentali è sempre presente nelle menti di tutti i protagonisti del settore. Le Case farmaceutiche «hanno sviluppato molecole fantastiche nel corso degli ultimi dieci anni, perfettamente sicure e capaci di indirizzarsi con precisione sul loro bersaglio», dice Dolmetsch, prima di arrivare alla battuta finale: farmaci efficaci come un bicchiere d'acqua fresca. Anche se convinto di disporre di «metodi di scoperta molto più validi», riconosce che ci vorranno da cinque a otto anni prima di sapere se la strategia fondata sui nuovi sistemi genetici e su strumenti come le cellule staminali funziona davvero.

Per chi sta cercando di scoprire medicine nuove, tutto si riduce a individuare nuovi bersagli molecolari verso cui indirizzare un principio attivo sicuro, in modo da intervenire sui sintomi di una malattia. È una sfida estremamente ardua. Ancora non è chiaro se e come la conoscenza sempre più estesa dei problemi che possono intervenire a livello cerebrale in chi soffre di disturbi psichiatrici, possa condurre direttamente a questi farmaci. Ma dopo decenni di vicoli ciechi, oggi i ricercatori dispongono finalmente degli strumenti necessari per sperimentare con pazienza le strategie atte a intervenire. Una volta acquisito un sistema migliore per curare patologie come l'autismo e la schizofrenia, conclude Dolmetsch, «sarebbe un crimine non cercare di sfruttarlo». ■

*David Rotman è redattore di MIT Technology Review USA.*

# LA IMPENSABILE FORZA DEL PENSIERO

In uno straordinario esperimento, una donna paralizzata utilizza la sua mente per controllare un braccio robotico. Il problema è come trasferire questa tecnologia dai laboratori al mondo esterno.

**Antonio Regalado**

**E**ra la mia prima telefonata a Jan Scheuermann. Stavo per scusarmi del quarto d'ora di ritardo, quando mi ha bloccato con queste parole: «Non è che me ne stessi seduta con le mani in mano ad aspettare la telefonata». Ma prima che potessi controbattere, ha aggiunto: «Cioè, in verità me ne stavo seduta con le mani in mano».

Jan, ora 54enne, si trova su una sedia a rotelle da 14 anni. Ha sempre vissuto in California, svolgendo un'attività part-time come ideatrice di personaggi teatrali per la serie «Cene con delitto». «Perfettamente in salute, sposata, con due figli». Una notte, durante una «cena» da lei organizzata, ha sentito le gambe cedere: «All'inizio ho pensato che fosse l'aria fredda della notte, ma quando ho dovuto salire i due scalini di casa, mi sono sentita crollare il mondo».

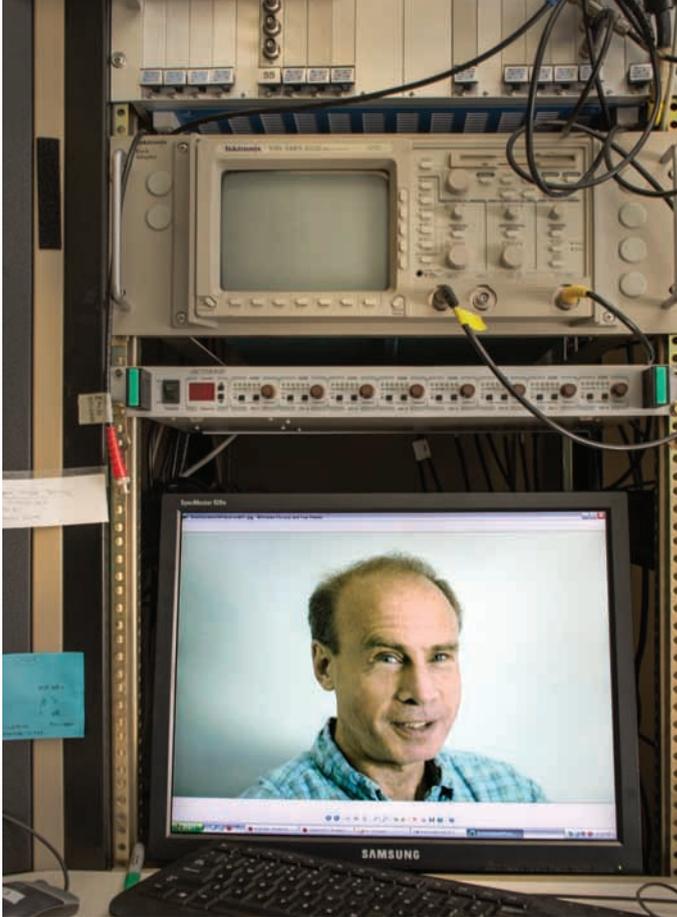
Seguirono alcuni mesi di visite mediche e diagnosi errate; un neurologo le disse che si trattava di sclerosi multipla. Da allora, Jan ha iniziato a muoversi su una carrozzella elettrica e a «spingersi progressivamente». Era ormai convinta di morire, quindi si spostò a Pittsburgh dove la sua famiglia poteva prendersi cura dei figli. Alla fine le venne diagnosticata una malattia rara chiamata degenerazione spino-cerebellare. Jan è in grado di percepire il suo corpo, ma i nervi che trasportano i segnali dal cervello non funzionano più. Il suo cervello dice «Muoviti», ma i suoi arti rimangono fermi.

Due anni e mezzo fa, i medici hanno aperto due «porte» nel cranio di Jan, per inserire dei cavi connessi con due impianti grandi come una puntina da disegno collocati nella corteccia motoria del suo cervello. Due o tre volte la settimana, Jan incontra un gruppo di scienziati dell'University of Pittsburgh per portare avanti un esperimento, in cui viene collegata a un braccio robotico, da lei chiamato Hector, che può controllare con il suo pensiero. Jan con la sua mente sposta blocchi, impila coni, dà il cinque e si mette in posa per foto, in cui simula di «stendere» uno o due ricercatori.

Jan, che dice di sognare di non essere disabile, si è sottoposta all'intervento chirurgico al cervello nel 2012 dopo avere visto un video di un altro paziente paralizzato in grado di controllare il braccio robotico con il pensiero. Immediatamente ha deciso di volersi unire al progetto. Durante l'intervento, i medici hanno utilizzato una pistola ad aria compressa per sparare i due minuscoli strati di aghi di silicio, il cosiddetto *Utah Electrode Array*, nella sua corteccia motoria, vale a dire la sottile striscia di cervello che va dalla cima della testa alle mandibole e controlla il movimento volontario. Jan si è svegliata dall'operazione con un male di testa lacerante e non poteva credere di essersi sottoposta volontariamente all'intervento: «Pensavo: «Gesù, fa in modo che tutto ciò non sia stato inutile». La mia più grande paura era che l'esperimento non funzionasse». Ma nel giro di pochi giorni era in grado di controllare il braccio robotico, con grande successo. «Riuscivo a spostare gli oggetti intorno a me per la prima volta dopo tanti anni. Una sensazione elettrizzante».

Unica a provenire da Pittsburgh, Jan è una dei 15-20 pazienti paralizzati che hanno accettato di partecipare agli studi a lungo termine sugli impianti che convogliano le informazioni dal cervello al computer. Altri nove, tra cui pazienti con forme avanzate di SLA, si sono sottoposti a test simili in uno studio strettamente correlato, chiamato BrainGate. Altri quattro pazienti incapaci di muoversi o parlare hanno riguadagnato una minima capacità di comunicare grazie a diversi tipi di elettrodi prodotti da Neural Signals, un'azienda della Georgia.

Un terzo dei soggetti si è sottoposto agli interventi dal 2011, quando la Food and Drug Administration statunitense ha preannunciato l'intenzione di rendere meno vincolanti le regole per la sperimentazione di «tecnologie veramente pionieristiche» come le interfacce cervello-macchina. Altri esperimenti sull'uomo sono in



Il neurofisiologo Andrew Schwartz nel laboratorio in cui collega menti e computer. Fotografia: Scott Goldsmith

## 5 pietre miliari del controllo mentale

### 1870

Gli scienziati scoprono la corteccia motoria. Applicano l'elettricità al cervello dei cani, provocando un movimento dei loro arti.

### 1969

All'University of Washington, alle scimmie viene insegnato a muovere una manopola utilizzando gli impulsi nervosi registrati dai loro cervelli. È il primo esempio di interfaccia cervello-macchina.

### 1982

Viene dimostrato che l'attivazione elettrica dei neuroni nella corteccia motoria permette di prevedere il tipo di movimento dell'arto della scimmia. La scoperta è alla base dei robot controllati col pensiero.

### 1998

I medici impiantano un singolo elettrodo nel cervello di un paziente paralizzato che non può parlare, ma è così in grado di muovere un cursore per selezionare un messaggio da un menu su computer.

### 2014

I medici dell'OHIO University hanno l'intenzione di "rianimare" un arto paralizzato di un paziente per mezzo del controllo mentale. I suoi segnali cerebrali attiveranno elettrodi sul suo braccio, facendolo muovere.

corso. Uno, al Caltech, intende fornire al paziente «un controllo autonomo su Android, di Google, il sistema operativo per tablet». In aprile, un gruppo dell'Ohio State University, in collaborazione con Battelle, un istituto che si occupa di R&S, ha impiantato un dispositivo in un paziente per sfruttare i segnali cerebrali per il controllo degli stimolatori fissati al suo braccio. Battelle descrive con queste parole l'esperimento: «La rianimazione di un arto paralizzato con il controllo volontario del pensiero del partecipante».

Questi studi pionieristici sui nervi si basano sull'idea che la registrazione dell'attività elettrica di qualche decina di cellule nel cervello possa fornire un quadro sufficientemente accurato del tipo di movimento che si vuole fare con un arto. «Siamo tecnologicamente limitati. Scegliamo campioni di poche centinaia di neuroni tra i miliardi del nostro cervello ed è veramente sorprendente che si ottenga un segnale pulito», dice Kip Ludwig, direttore del programma di ingegneria neurale al National Institute of Neurological Disorders and Stroke.

La tecnologia in adozione a Pittsburgh è stata sviluppata nel laboratorio di fisiologia nel corso di alcuni studi su animali ed è ancora in fase sperimentale. Il fascio di cavi collega la testa di Jan a un gruppo di processori di segnali, amplificatori e computer. Il braccio robotico, pesante circa 4 kg e finanziato dalle forze armate, compie movimenti quasi naturali con la mano destra e le dita, ma è delicato, si rompe frequentemente e può anche diventare pericoloso. Quando qualcosa non funziona, chi interviene deve muoversi tra un fitto groviglio di fili alla ricerca delle connessioni.

John Donoghue, il neuro-scienziato della Brown University responsabile di BrainGate, lo studio in corso da più tempo, paragona le interfacce cervello-macchina attuali ai primi pacemaker. Anche i modelli iniziali dei pacemaker traboccavano di componenti elettronici, con cavi che attraverso la pelle raggiungevano il cuore. Alcuni venivano azionati manualmente. «Quando non si ha una piena comprensione di quanto accade, la soluzione migliore è mantenere tutto il possibile all'esterno e la minima parte all'interno», spiega Donoghue. Oggi, i pacemaker sono autonomi, alimentati da batterie di lunga durata e vengono impiantati in un ambulatorio medico. Donoghue sostiene che le interfacce cervello-macchina stanno percorrendo la stessa traiettoria.

Affinché i computer controllati dal cervello si affermino come prodotto medico, è necessario che ci sia un tornaconto economico e un equilibrio tra rischi e vantaggi. Finora, il caso di Jan sembra soddisfare entrambe le condizioni. Nel 2013, il gruppo di Pittsburgh ha presentato il suo lavoro con Jan sulla rivista medica "Lancet". Dopo due settimane, sostengono i ricercatori, Jan era in grado di muovere il braccio robotico in tre dimensioni. In pochi mesi, poteva fare sette movimenti, tra cui la rotazione della mano di Hector e del pollice. A un certo punto, Jan è stata filmata mentre è riuscita a realizzare uno dei suoi obiettivi iniziali: prendere da sola un pezzo di cioccolata.

I ricercatori hanno provato a sviluppare le capacità necessarie allo svolgimento delle attività quotidiane, che in genere si danno per scontate, come la pulizia dei denti. Durante lo studio, i progressi di Jan sono stati verificati con l'Action Research Arm Test, lo stesso kit di blocchi di legno, palline e coppette che i medici utilizzano per valutare la destrezza manuale in persone che hanno avuto problemi fisici da poco tempo. Jan ha ottenuto 17 su 57, più

**All'inizio è stato un continuo successo, ma nessuno, dice Jan Scheuermann, le aveva detto che l'impianto avrebbe potuto avere dei problemi. Gradualmente, l'attività di registrazione sta limitando il proprio ambito e il controllo sul robot tende a indebolirsi.**

o meno la media di chi è stato colpito da un serio ictus. Senza Hector, Jan non si sarebbe mai mosso da zero. Questi risultati hanno valso la partecipazione al programma televisivo *60 Minutes*.

Quando le telecamere della televisione si sono spente, alcuni dei difetti della tecnologia sono apparsi evidenti. All'inizio Jan otteneva un successo dopo l'altro, ma progressivamente il controllo di Hector è diventato più difficile. La ragione è che gli impianti, con il passare del tempo, smettono di registrare le attività neurali. Il cervello è un ambiente ostile per l'elettronica e i leggeri movimenti degli aghi di silicio provocano delle cicatrici nei tessuti. L'effetto è ben noto ai ricercatori ed è stato osservato ripetutamente negli animali. Di volta in volta, sempre meno neuroni possono venire rilevati.

Jan sostiene che nessuno l'aveva avvertita. «Il gruppo ha detto che prevedevano prima o poi una perdita del segnale dei neuroni. Io non potevo prevederlo e per questa ragione sono rimasta sorpresa», spiega Jan, che ora controlla il robot solo in un numero ridotto di dimensioni, da tre a cinque, e ha gradualmente perso la capacità di aprire e chiudere pollice e dita. Questa nuova delusione le ha fatto riprovare la sensazione dei giorni in cui era del tutto paralizzata? Le ho posto questa domanda qualche giorno dopo per e-mail. Jan mi ha risposto con un messaggio scritto da una assistente che la segue quasi sempre: «Sono rimasta delusa perché probabilmente non potrò mai fare meglio di quanto ho già fatto, ma l'ho accettato senza particolare ansia o amarezza».

### La rianimazione delle facoltà motorie

Il ricercatore che ha ideato l'esperimento di Pittsburgh è Andrew Schwartz, il cui laboratorio occupa un pianterreno soleggiato dominato da tre grigie torri metalliche di attrezzature utilizzate per monitorare le scimmie nelle postazioni adiacenti. Sulle televisioni a circuito chiuso si possono seguire le attività all'interno del laboratorio e quanto si vede, va oltre ogni immaginazione. Su uno schermo, una ruota metallica gira senza sosta, cambiando la posizione di una maniglia arancione. A ogni giro, una grande mano robotica scende dal vertice dello schermo per afferrare la maniglia. Se ci lascia distrarre da questo movimento convulso, è facile che si perda di vista la faccia rosa e grigia della scimmia Rhesus che sta esercitando il controllo su quanto accade mediante un cavo inserito nella sua testa.

La tecnologia ha le sue radici negli anni 1920, con la scoperta che i neuroni convogliano l'informazione attraverso impulsi elettrici che si possono registrare con un sottile cavo metallico, o elettrodo. Nel 1969, il ricercatore Eberhard Fetz collegò un singolo

neurone nel cervello di una scimmia a una manopola che l'animale poteva vedere. La scimmia, scoprì Fetz, riuscì ad attivare con sempre maggiore rapidità il neurone per muovere la manopola e ricevere come ricompensa una caramella al sapore di banana. Anche se allora Fetz non ne era consapevole, aveva creato la prima interfaccia cervello-macchina.

Circa 30 anni fa, Schwartz contribuì a sviluppare questa scoperta nel periodo in cui i fisiologi cominciarono a registrare l'attività di più neuroni in animali viventi. Essi scoprirono che, anche se l'intera corteccia motoria esplose in una serie ininterrotta di segnali elettrici, quando un animale si muove, un singolo neurone tenderà ad attivarsi più rapidamente in connessione con determinati movimenti – per esempio, spostare il braccio a sinistra o piegare il gomito – e più lentamente con altri. Se si registra l'attività di una giusta quantità di neuroni, si può intuire con una buona approssimazione quale movimento stia facendo la persona o abbia intenzione di fare. «È come un sondaggio per le elezioni politiche: più neuroni vengono "interrogati", più i risultati sono accurati», spiega Schwartz.

I 192 elettrodi dei due impianti di Jan hanno registrato simultaneamente l'attività di oltre 270 neuroni alla volta: un record per il cervello di un essere umano. Schwartz dice che sono stati questi dati raccolti a permettere a Jan di esercitare un controllo così avanzato sul robot.

I segnali neurali vengono interpretati da un software chiamato decoder. Nel corso degli anni, gli scienziati hanno implementato i decoder e perfezionato gli schemi di controllo. Nel 1999, Miguel Nicolelis, neuro-scienziato della Duke University, insegnò a un ratto a utilizzare la forza del pensiero per fare oscillare una mensola sospesa al fine di ottenere una ricompensa. Tre anni dopo, una scimmia di Donoghue fu in grado di muovere un cursore in due direzioni su uno schermo di computer e, nel 2004, il gruppo di BrianGate realizzò il primo test umano a lungo termine con l'*Utah Electrode Array*, mostrando che anche chi ha gli arti paralizzati da anni, può controllare un cursore mentalmente. Nel 2008, una scimmia di Schwartz afferrò dei dolci con la mano robotica e li portò alla bocca.

Jan ha dovuto superare una lunga serie di prove. Le è stato chiesto di controllare due bracci robotici allo stesso tempo e di sollevare una scatola («Ci sono riuscita solo una volta o due», dice Jan). Alcuni risultati sono di difficile interpretazione. Per esempio, Jan può stringere le dita di Hector su un cono di plastica, ma spesso solo se chiude gli occhi prima. Ciò vuole dire che l'immagine del cono è in qualche modo riflessa negli schemi di attivazione dei neuroni? Schwartz ha passato mesi a cercare di sviscerare questa tematica. La risposta a una simile domanda potrebbe aprire la strada a nuove scoperte su come il cervello predisponesse ed esegua le azioni.

Una volta la sua assistente le ha appiccicato dei baffi da topo e una coda per "spiazzare" i ricercatori. Una forma di umorismo "nero" che evidenzia il ruolo fondamentale giocato in questi esperimenti dai volontari umani. «Le situazioni da affrontare sono difficili quasi quanto l'addestramento di questi "ragazzacci"», dice Schwartz, indicando il laboratorio con le scimmie.

Questi volontari si sentono in trappola. Alcuni di loro sperano disperatamente che la scienza fornisca una via di fuga. Purtroppo, è improbabile che ciò possa accadere nel corso della loro vita. Il primo volontario di BrainGate è stato il 25enne Matt Nagle, che era colle-



Jan Scheuermann impila coni con un braccio robotico controllato dalla sua mente, sotto il controllo dell'assistente alla ricerca Brian Wodlinger.  
 Fotografia: per gentile concessione di UPMC

gato a un respiratore artificiale da quando il suo midollo spinale era rimasto lesionato per una coltellata. Nel 2004, era in grado di muovere un cursore su uno schermo. Tuttavia, Nagle voleva suicidarsi e chiedeva costantemente di aiutarlo a morire, secondo *The Man with the Bionic Brain*, il libro scritto dal suo medico. Nagle morì per un'infezione nel 2007. Sulle chat on line pazienti paralizzati si scambiano informazioni sulle possibili terapie, come le cellule staminali. Alcuni definiscono "eccentriche" le interfacce cervello-macchina, altri ritengono che siano la loro unica chance. «Voglio provarla! Toglietemi questo braccio inutile e datemene uno robotico con cui possa "sentire" qualcosa!», ha scritto uno di loro.

Quest'anno, Schwartz spera di generare sensazioni fisiche dal braccio robotico, sempre che riesca a trovare un altro volontario tetraplegico. Come Jan, al prossimo paziente saranno impiantate due array nella corteccia motoria per controllare il braccio robotico. Ma Schwartz chiarisce che i chirurghi depositeranno due nuovi impianti nella corteccia sensoriale del volontario, per ricevere segnali dai sensori di pressione fissati alle punte delle dita robotiche. Le ricerche condotte dal laboratorio di Nicolelis, alla Duke University, hanno di recente dimostrato che gli animali avvertono questi stimoli elettrici e vi rispondono. «Non sappiamo se il soggetto proverà la sensazione di toccare», spiega Schwartz. «Per il momento sono solo una serie di ipotesi perché non si può chiedere a una scimmia che tipo di sensazione provi. Crediamo, comunque, di trovarci di fronte a una futura scoperta scientifica. Se il paziente potrà spiegare cosa prova, ne avremo una conferma ufficiale».

Un altro obiettivo importante, condiviso da Schwartz e dai ricercatori di BrainGate, è stabilire una connessione tra la corteccia motoria di un volontario e alcuni elettrodi nei suoi arti, che dovrebbe permettere la contrazione muscolare, per esempio l'apertura e la chiusura di una mano. In aprile, i chirurghi dell'Ohio University che lavorano con Battelle hanno annunciato che saranno i primi a condurre questa sperimentazione. Hanno inserito un impianto cerebrale in un uomo con una lesione al midollo spinale. Appena il paziente si riprenderà, dice Battelle, inizieranno i test per "rianimare" le sue dita, il polso e la mano. «Vogliamo far riacquistare il controllo sugli arti paralizzati. Chiunque deve essere in grado di prendere un telecomando e cambiare canale», sostiene Chad Bouton, l'ingegnere responsabile del progetto, che in precedenza ha collaborato con il gruppo di BrainGate. Anche se Battelle non ha ancora ricevuto l'approvazione ufficiale per portare avanti il tentativo, Bouton anticipa che il passo successivo sarà quello di sperimentare un segnale bidirezionale a e da un arto paralizzato, per mettere insieme controllo e sensazione.

### I problemi delle interfacce

I progressi delle interfacce cervello-macchina sembrano inarrestabili. «É impressionante guardare in progressione il primo video di una scimmia fino a quello di qualcuno che sposta un robot in sette dimensioni, raccoglie oggetti e li poggia su un ripiano», afferma Lee Miller, un neurofisiologo della Northwestern University. «Ma, a guardare bene, una cosa non è mai cambiata: l'array. É la Stanley Steamer, la prima automobile ufficiale di Theodore Roosevelt, degli impianti cerebrali. Anche se si riesce a esercitare un control-



L'*Utah Electrode Array*, inventato negli anni 1990, possiede 96 aghi di silicio che registrano gli impulsi elettrici dei neuroni nel cervello.  
Fotografia: Scott Goldsmith

lo, lo si perde nel corso di due o tre anni. Abbiamo bisogno di un'interfaccia che duri almeno 20 anni prima che si possa parlare di un prodotto completo».

L'*Utah array* è stato realizzato nei primi anni Novanta come un sistema di registrazione delle attività della corteccia, inizialmente nei gatti, che non provocasse traumi significativi al cervello. Si ritiene che i problemi siano provocati dal tessuto cicatriziale che si viene a formare intorno agli aghi di registrazione, ognuno della lunghezza di 1,5 millimetri. Se si risolvesse questo problema delle interfacce, spiega Miller, non ci sarebbe alcuna ragione, a suo parere, perché 100mila persone non vengano dotate di impianti cerebrali per controllare carrozzelle elettriche, cursori di computer o i loro arti. Schwartz aggiunge anche che se fosse possibile registrare simultaneamente le attività di un gruppo consistente di neuroni, si potrebbe addirittura suonare il pianoforte con un braccio robotico controllato dal pensiero.

I ricercatori stanno approfondendo diverse strade per migliorare le interfacce cerebrali. Alcuni cercano di produrre elettrodi ultrasottili, più compatibili con le caratteristiche dell'organismo

**Alcuni pazienti paralizzati stanno guardando all'elettronica come all'unica opportunità di recupero funzionale. «Tagliate il mio inutile braccio e datemene uno robotico per farmi ancora "sentire" qualcosa», ha scritto uno di loro.**

umano, o fogli di elettronica flessibile da avvolgere intorno alla testa. A San Francisco, i medici stanno valutando se si possano utilizzare elettrodi di superficie, anche se meno accurati, nei decoder del linguaggio, permettendo, almeno potenzialmente, a persone come Stephen Hawking di parlare attraverso una interfaccia cervello-macchina. In un ambizioso progetto promosso lo scorso anno dall'University of California, a Berkeley, i ricercatori sono impegnati a sviluppare quella che loro chiamano "polvere neurale". L'obiettivo è di distribuire dei micro-sensori piezoelettrici nel cervello e sfruttare le onde sonore riflesse per catturare le scariche elettriche dai neuroni circostanti.

Jose Carmena, un ricercatore di Berkeley che, come Schwartz, lavora con le scimmie per testare i limiti del controllo mentale, s'incontra settimanalmente con un gruppo di una decina di scienziati per vagliare nuovi possibili sistemi di registrazione delle attività neurali. Ma qualunque saranno i risultati dei loro incontri, le loro ipotesi dovranno passare per anni di sperimentazione sugli animali prima di effettuare dei test sulle persone. «Non credo che l'Utah array stia diventando il pacemaker del cervello», dice Carmena. «Ma il risultato che si vuole raggiungere non è differente. Nelle missioni spaziali non si insegue la tecnologia di moda, ma quella più affidabile. Noi vogliamo seguire lo stesso percorso».

### Costi elevati e scarse risorse

Per avere successo, ogni nuovo apparecchio medico deve rivelarsi sicuro, utile ed economicamente vantaggioso. A oggi, le interfacce cervello-macchina non soddisfano questi requisiti. Un problema è rappresentato dai rischi connessi alla chirurgia cerebrale e alle possibili infezioni. Alla Brown University, Donoghue dice che il gruppo di BrainGate ha quasi finito di sviluppare un trasmettitore wireless, grande come un accendino, che dovrebbe venire collocato sotto la pelle dei pazienti e diminuire i rischi di infezioni, eliminando del tutto i piedistalli e i cavi che rendono ingombranti le interfacce cervello-macchina. Donoghue sostiene che con un sistema wireless gli impianti sarebbero da subito una valida alternativa medica.

Ma ciò solleva un altro serio problema: che cosa controlleranno i pazienti? Il braccio robotico di Jan è ancora un prototipo costoso e spesso si rompe. Preoccupa che non tutti possano permettersene uno. Leigh Hochberg, un neurologo del Massachusetts General Hospital, che segue la ricerca del BrainGate insieme con Donoghue, pensa che i primi utenti saranno probabilmente dei pazienti limitati nella capacità di azione, vale a dire che non possono muoversi e parlare. Hockberg ritiene che sarebbe una importante "conquista" l'acquisizione da parte di questi pazienti del con-



Il *Modular Prosthetic Limb* è stato progettato dall'Applied Physics Laboratory della Johns Hopkins University e finanziato dal DARPA. Fotografia: per gentile concessione del DARPA e dell'Applied Physics Laboratory della John Hopkins University.

trolo di un mouse, che permetterebbe loro di digitare parole o cambiare canale televisivo.

Spesso, anche i pazienti più gravi possono muovere gli occhi e comunicare, utilizzando sistemi di rilevamento del movimento oculare. Un'indagine dell'University of Michigan condotta su 61 pazienti con SLA ha scoperto che circa il 40 per cento avrebbe preso in considerazione un intervento chirurgico per un impianto cerebrale, ma solo se gli avesse permesso di comunicare più di 15 parole al minuto (un quinto delle persone che hanno risposto alle domande non era già in grado di parlare). BrainGate non ha ancora raggiunto queste velocità.

Le singole componenti della tecnologia «hanno raggiunto un discreto livello di sviluppo», spiega Andy Gotshalk, CEO di Blackrock Microsystems, che produce l'*Utah array* e ha acquistato alcune tecnologie del BrainGate. «Ma se mi chiedete che tipo di prodotto sarà – controllerà un braccio protesico o una sedia a rotelle? – non saprei dare una risposta. L'intenzione è quella di offrire un prodotto di alto livello per semplificare la vita di chi soffre di tetraplegia. Ma di cosa si tratti esattamente, non è ancora

**Senza un prodotto determinato e una domanda sufficiente su cui puntare, nessuna grande azienda si impegnerà nella creazione di neuro-protesi per tetraplegici. Una startup è fallita dopo avere raccolto oltre 30 milioni di dollari.**

chiaro. Gli scienziati presentano autorevoli pubblicazioni sull'argomento, ma io devo preoccuparmi del piano commerciale e questo è un problema».

Senza un chiaro obiettivo da perseguire, nessuna azienda accetterà di imbarcarsi nell'impresa. In effetti, i rischi aziendali sono molto alti perché ci sono relativamente pochi pazienti con tetraplegia completa – circa 40mila negli Stati Uniti – e ancora meno con forme di SLA avanzate. Cyberkinetics, un'azienda fondata da Donoghue, è fallita dopo avere raccolto oltre 30 milioni di dollari. I ricercatori, invece, vanno avanti con finanziamenti modesti rispetto ai capitali necessari a produrre un apparecchio medico, il cui costo può arrivare a 100 milioni di dollari. «Non c'è una sola azienda che vuole investire dei soldi per creare una neuro-protesi per tetraplegici e il mercato non è abbastanza grande da attirare il capitale finanziario. I conti non tornano», afferma Gotshalk.

Altri ritengono che la tecnologia delle interfacce cervello-macchina potrebbe avere applicazioni inaspettate, assai lontane dal controllo delle braccia robotiche. Molti ricercatori, tra cui Carmena e il gruppo al Battelle, stanno provando a capire se le interfacce potrebbero aiutare nella riabilitazione dei pazienti colpiti da ictus. Poiché questi pazienti rappresentano un vasto mercato, «non sarebbe una cattiva idea cambiare strategia», dice Carmena. Alcune delle tecnologie di registrazione potrebbero tornare utili per la comprensione di malattie psichiatriche come la depressione o i disturbi ossessivo-compulsivi.

Nel caso di Jan, la sua interfaccia cervello-macchina si è dimostrata una valida terapia. All'inizio, quando è arrivata a Pittsburgh, dicono i medici, era giù di umore e non sorrideva mai. La partecipazione all'esperimento l'ha rivitalizzata. «Ero felice. Collaboravo con altri per la prima volta dopo 20 anni ed ero al centro dell'attenzione», afferma Jan, che ha finito di dettare un romanzo giallo, *Sharp as a Cucumber*, iniziato prima di ammalarsi e pubblicato on line. Ora sta lavorando a un secondo libro. Jan mi ha detto che le piacerebbe avere un braccio robotico a casa, per aprire la porta, andare in giardino e parlare con i vicini. Forse riuscirebbe anche ad aprire il frigorifero e prendere i sandwich che la sua assistente prepara per lei.

La nostra telefonata è ormai alla fine. Il momento è difficile. Io posso poggiare il telefono, ma lei no. Il marito è andato a fare la spesa. Hector si trova nel laboratorio. Jan è sola e non può muoversi. «Va tutto bene», mi dice, «lo lascerò cadere sul pavimento. Arrivederci». ■

*Antonio Regalado è responsabile del settore marketing di MIT Technology Review USA.*

# Tutti inventori!

## Partecipa al Design Challenge iNEMO®

con Discovery-M1 che garantisce  
10 gradi di libertà e l'intelligenza di STM32  
per integrare i dati raccolti da 4 sensori MEMS:  
accelerometro, giroscopio, magnetometro a 3 assi  
e sensore di pressione

▶ **Iscriviti**



[www.pepite.info](http://www.pepite.info)

# Impresa Semplice

Il braccio destro per il business.



**Affida i tuoi dati a Nuvola Italiana  
e fai grandi progetti per il tuo business.**



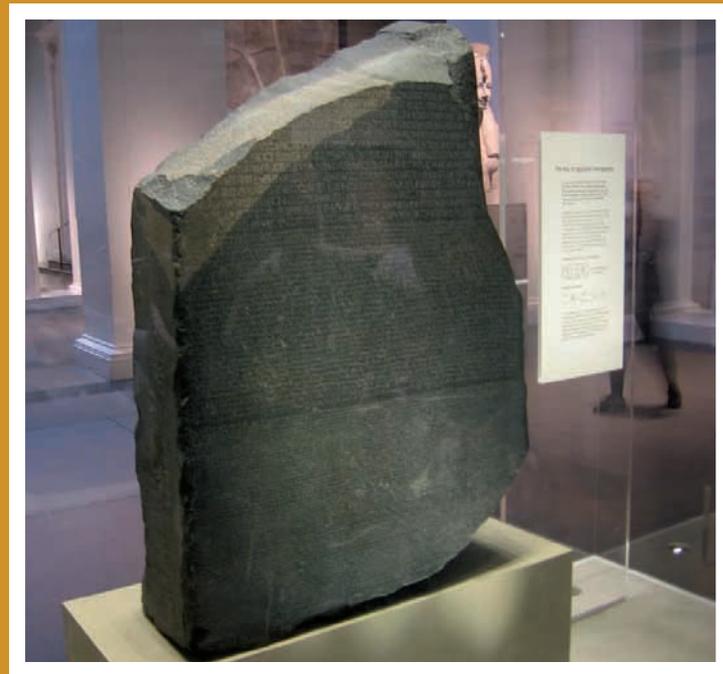
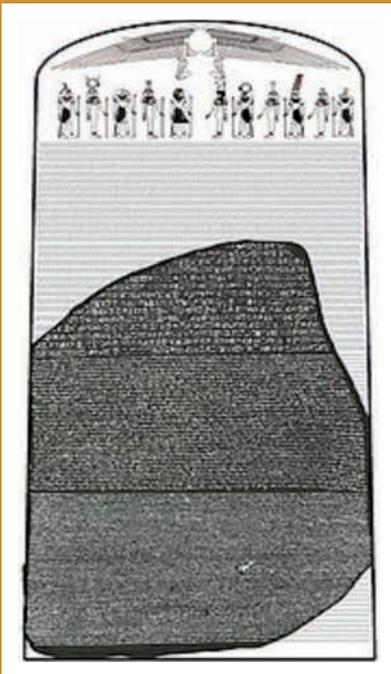
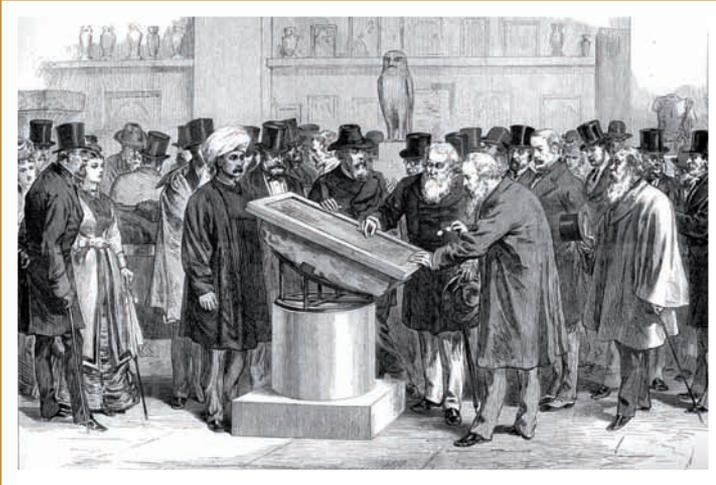
[impresasemplice.it](http://impresasemplice.it)



# MIT Technology Review ITALIA

Anno XXVI - 5/2014

[www.technologyreview.it](http://www.technologyreview.it)



La stele di Rosetta, che dà il nome alla sonda spaziale in viaggio verso la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, è una grigia lastra di granito con un testo inciso, all'inizio del II secolo a.C., in tre scritture: geroglifica, demotica, greca. La stele, scoperta dall'esercito francese presso la città di Rosetta, sul delta del Nilo, durante la spedizione napoleonica in Egitto, venne poi trasferita in Inghilterra, nel British Museum. Fu però un francese, Jean François Champollion, a decifrarne i segni misteriosi, nel 1822. Ispirandosi alla stele di Rosetta, anche la missione europea si propone il compito, altrettanto complesso, di contribuire a decifrare il passato, e quindi il futuro, del mondo e della vita.