

LE MAGNIFICHE DIECI

TECNO

Un nuovo modo di fare

La GE, la manifattura più grande al mondo, è sul punto di utilizzare la stampa 3D per produrre componenti dei motori jet.

Martin LaMonica

La General Electric è sul punto di attuare un distacco radicale dai tradizionali sistemi di produzione. La sua divisione aeronautica, la maggiore fornitrice di motori jet, si sta preparando a produrre mediante stampa 3D un ugello per combustibile destinato a un nuovo motore. Questa tecnica, conosciuta come manifattura per addizione (perché costruisce un oggetto aggiungendo uno a uno degli strati ultrasottili di materiale), potrebbe cambiare il modo in cui GE progetta e realizza molte delle complesse parti che vanno a comporre qualunque cosa, dalle turbine a gas alle macchine a ultrasuoni.

La manifattura per addizione – la versione industriale della stampa 3D – è già adoperata per alcuni prodotti di nicchia, quali gli impianti medici, e per produrre prototipi in plastica per ingegneri e designer. La decisione di produrre in massa un componente critico in lega, destinato alla installazione su migliaia di motori, costituisce una pietra miliare per la tecnologia. Infatti, per quanto la stampa 3D per i consumatori e i piccoli imprenditori sia stata molto reclamizzata, è nell'industria manifatturiera che la tecnologia potrebbe avere il maggiore impatto commerciale.

Lo scorso autunno, GE ha acquistato un paio di aziende con un particolare know-how nella manifattura automatizzata di precisione di metalli e ha poi applicato queste tecnologie nelle operazioni della divisione aeronautica. Questo gruppo non ha molto tempo per dimostrare che la sua nuova tecnologia è in grado di operare su scala commerciale. La CFM International, la joint venture di GE con la francese Snecma, utilizzerà l'ugello stampato in 3D all'interno del suo motore jet LEAP, che si preve-

10 tecnologie innovative, tra le tante presentate dalla nostra rivista, anche in questo fascicolo, che appaiono suscettibili di rompere gli equilibri di mercato, fornendo al tempo stesso contributi significativi all'attuale qualità della vita.

La nostra definizione di tecnologia innovativa è semplice: un progresso che apre la strada a nuovi modi di sfruttare la tecnologia. Potrebbe trattarsi di un design originale che mette a disposizione un'interfaccia di semplice utilizzo (come nel caso degli orologi intelligenti) o di congegni sperimentali che aiutano chi ha sofferto di una lesione cerebrale a ritrovare la memoria.

Oppure di sistemi per la crescita economica sostenibile, o per nuove forme di comunicazione e di relazione interpersonale, o per il sequenziamento del DNA prenatale.

Alcune tecnologie sono brillanti conquiste in campo ingegneristico, altre sono frutto di una lunga riflessione su problemi settoriali come nel caso dell'apprendimento profondo e dell'energia solare.

La lista di questo anno non vuole solo offrire un panorama delle tecnologie più innovative, ma esaltare la profondità dei percorsi creativi di chi le ha ideate. Perché ogni nuova tecnologia non va percepita esclusivamente in chiave strumentale, come una mera protesi del corpo, ma va concepita come una nuova condizione di vita e una nuova possibilità di connessione: tra chi progetta e chi produce; tra chi produce e chi utilizza; tra chi utilizza e il mondo circostante, il mondo degli altri e delle cose.

Protagonisti

- GE Aviation
- EADS
- United Technologies
- Pratt & Whitney

de verrà installato a partire dalla fine del 2015 o all'inizio del 2016. La CFM dichiara di avere già ricevuto commissioni per un valore di 22 miliardi di dollari. Ogni motore utilizzerà tra i 10 e i 20 ugelli e quindi per i prossimi tre anni GE dovrà produrre 25mila di questi ugelli ogni l'anno.

GE ha optato per la manifattura per addizione degli ugelli perché utilizza meno materiale rispetto alle tecniche convenzionali. Questa caratteristica riduce i costi di produzione e, rendendo le parti più leggere, comporta per le Compagnie aeree dei significativi risparmi sui consumi. Le tecniche convenzionali richiederebbero la saldatura di venti piccoli pezzi, un processo intensivo, in cui un'alta percentuale del materiale va sprecata. Ricorrendo alla

Questi prototipi di staffe per motori di aerei mostrano come la stampa 3D sia in grado di realizzare forme complesse e minuziose (a destra, la staffa ultimata). *Fotografia: Jennifer May*

manifattura per addizione, invece, il componente verrà ricavato da una base di polvere di cobalto-cromo. Un laser controllato da computer colpisce con precisione la base in maniera tale da sciogliere l'alluminio nei punti desiderati, creando uno a uno strati sovrapposti dello spessore di 20 micrometri.

Il processo riesce a realizzare forme complesse con maggiore rapidità perché i macchinari possono operare ininterrottamente. La manifattura per addizione risparmia materiale perché la stampante può gestire forme che eliminano ingombri superflui e riesce a crearle senza gli scarti consueti.

Le altre divisioni di GE – e i suoi concorrenti – stanno seguendo attentamente gli sviluppi. GE Power & Water, che produce grandi turbine a gas e turbine eoliche, ha già identificato parti che possono venire realizzate con questo processo; anche GE Healthcare ha sviluppato un metodo per stampare trasduttori, le costose sonde ceramiche utilizzate nei macchinari a ultrasuoni. «Questo processo sta cambiando radicalmente il modo aziendale di pensare e fare», dice Mark Little, CTO di GE.

L'abbandono delle tecniche manifatturiere tradizionali garantisce una maggiore flessibilità ai progettisti di GE. I sistemi di produzione per addizione partono direttamente da un modello computerizzato, per

cui è possibile sviluppare forme completamente nuove senza riguardo per eventuali limitazioni manifatturiere. «Possiamo pensare a configurazioni che prima erano inarivabili», dice Little.

Gli ingegneri di GE stanno cominciando a esplorare le possibilità di applicare la manifattura per addizione a un campo più esteso di lavorazioni metalliche, includendo materiali specificamente sviluppati per la stampa 3D. La divisione aeronautica di GE, per esempio, sta esplorando la possibilità di utilizzare titanio, alluminio e leghe in nichel-cromo, materiali difficilmente impiegabili con i processi di produzione a getto. La lama di un motore o di una turbina, per esempio, potrebbe venire realizzata con materiali differenti, così da ottimizzare sia la durata, sia la resistenza al calore.

Tutte queste idee sono ancora solo su carta, o meglio, nei computer dei progettisti. Per ora l'ugello della GE – una parte sufficientemente piccola da stare nel palmo di una mano – sarà il primo test significativo della capacità della manifattura per addizione di rivoluzionare la maniera in cui prodotti complessi e performanti vengono realizzati. ■

Martin LaMonica
è redattore della edizione americana di MIT Technology Review.



TECNO

Il robot operaio

L'interazione con il sistema robotico di Rethink Robotics è semplice, ma le innovazioni tecnologiche richieste mostrano quanto sia arduo il percorso per favorire la collaborazione tra uomo e macchina.

Will Knight

Comando centrale

Baxter costa molto meno della massima parte dei robot industriali, perché il suo software è inserito su un normale personal computer, incorporato nel torace.



Controllo della forza

Molti robot industriali costituiscono un rischio per chi ci lavora a fianco. Baxter si muove delicatamente e le sue articolazioni sono dotate di sensori per evitare collisioni, permettendogli di ridurre istantaneamente la forza dell'impatto.



Protagonisti

- Rethink Robotics
- Universal Robotics
- Redwood Robotics
- Julie Shah, MIT

Doppio sistema di visione

Una videocamera in ogni polso gli permette di vedere e afferrare gli oggetti.



Si capisce dall'espressione

Baxter può assumere espressioni umane e dal suo volto si può capire con facilità a cosa si rivolge la sua attenzione. È anche in grado di localizzare la posizione delle persone nelle vicinanze, grazie a un anello di sensori sonar che ne circonda la testa.



Training sul campo

Chi lavora insegna a Baxter a svolgere un compito muovendo le braccia, ma si possono anche attivare altre caratteristiche utilizzando display e dispositivi di selezione sul suo avambraccio.



Un solare ancora più solare

Il raddoppio dell'efficienza dei dispositivi solari potrebbe cambiare completamente l'economia dell'energia rinnovabile. Ecco un progetto che va in questa direzione.

Mike Orcutt

Atwater sostiene che il suo laboratorio è in grado di realizzare un dispositivo economico capace di produrre più del doppio dell'energia solare generata dagli odierni pannelli solari. L'impresa è possibile, afferma il docente di scienza dei materiali e di fisica applicata della Caltech, grazie ai recenti progressi nella manipolazione della luce in scala ridotta.

I pannelli solari disponibili oggi sul mercato consistono di celle ricavate da un singolo materiale semiconduttore, solitamente il silicio. Siccome il materiale assorbe solo una ristretta gamma dello spettro solare, gran parte dell'energia solare viene persa come calore: solitamente questi pannelli convertono meno del 20 per cento dell'energia in elettricità.

Il dispositivo concepito da Atwater e dai suoi colleghi avrebbe un'efficienza di almeno il 50 per cento, utilizzando un sistema capace di separare efficacemente la luce solare, come un prisma, tra sei e otto lunghezze d'onda, di cui ciascuna produce un colore diverso di luce. Ogni colore verrebbe disperso in una cella costituita da un semiconduttore specifico in grado di assorbirla.

Il gruppo di Atwater sta lavorando a tre soluzioni progettuali. In una (raffigurata nell'illustrazione), di cui è già stato realizzato un prototipo, la luce solare viene raccolta da una depressione, ricavata da lastre di metallo riflettente, e viene direzionata con un angolo specifico verso una struttura in materiale isolante trasparente. L'esterno della struttura trasparente è rivestito di celle solari, ciascuna delle quali è composta da uno dei diversi semiconduttori. Quando la luce entra nel materiale, incontra una serie di sottili filtri ottici che consentono a un solo

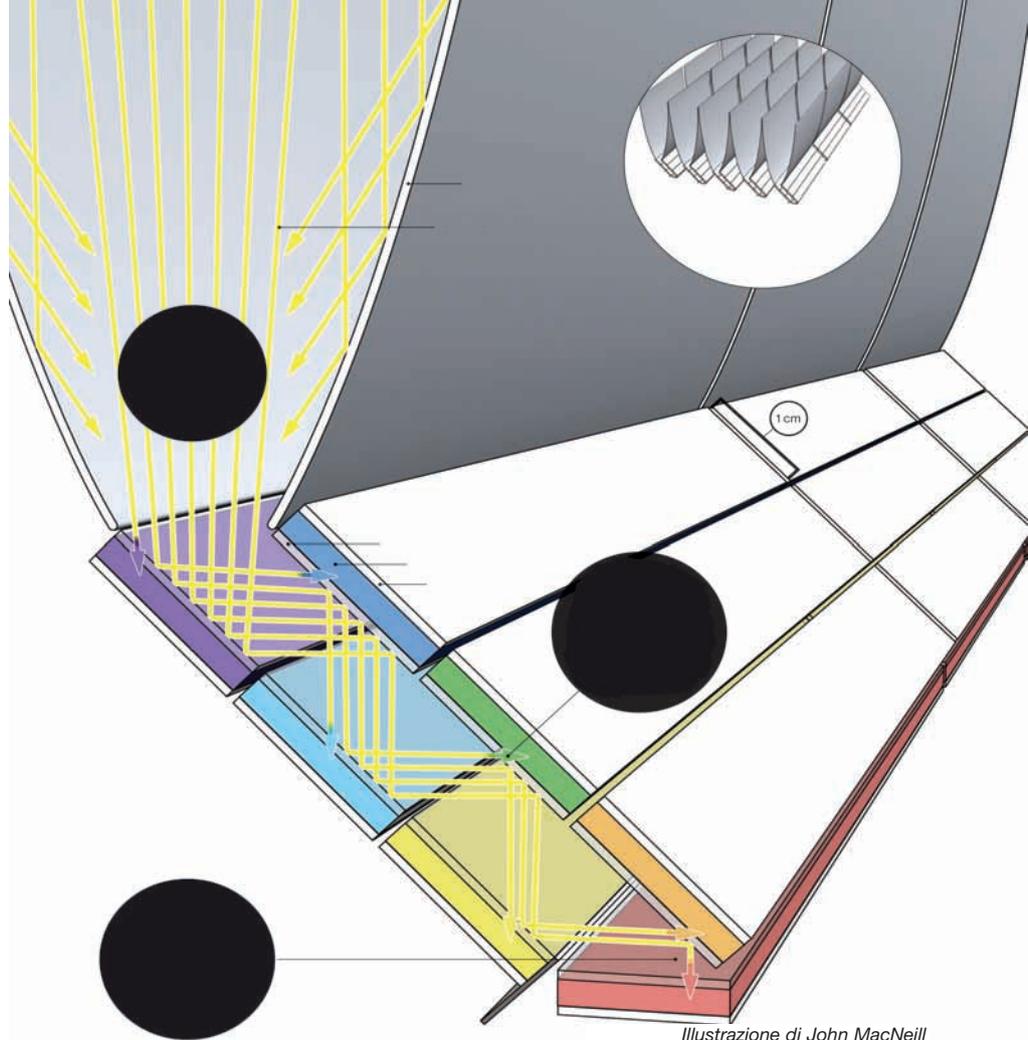


Illustrazione di John MacNeill

Protagonisti

- Harry Atwater, Caltech
- Albert Polman, AMOLF
- Eli Yablonovitch, University of California, Berkeley
- Dow Chemical

colore di arrivare a illuminare una cella destinata al suo assorbimento; i restanti colori vengono riflessi verso altri filtri, sviluppati appositamente.

Un'altra soluzione farebbe ricorso a filtri ottici in nanoscala per filtrare la luce proveniente da tutti gli angoli. Una terza utilizzerebbe degli ologrammi per separare lo spettro della luce. Anche se differenti, l'idea alla base di queste soluzioni progettuali è la stessa: combinare le celle solari tradizionali a tecniche ottiche attraverso le quali sfruttare al meglio l'ampio spettro della luce e sacrificare meno energia possibile.

Non è ancora chiaro quale soluzione offrirà le prestazioni migliori, spiega Atwater. I dispositivi derivanti sarebbero però meno complessi di molti altri dispositivi elettronici presenti sul mercato e ciò darebbe ad Atwater

e al suo gruppo la certezza che, realizzando e ottimizzando un prototipo, sarebbe possibile commercializzare subito la tecnologia.

L'ottenimento di un'efficienza elevata nei progetti degli impianti fotovoltaici dovrebbe essere un obiettivo primario dell'industria, rimarca Atwater, visto che è adesso "la leva migliore di cui disponiamo" per ridurre il costo dell'energia solare.

In effetti, i prezzi dei pannelli solari sono precipitati negli ultimi anni, per cui continuare a concentrarsi su un'ulteriore riduzione del loro costo avrebbe un impatto limitato sui prezzi dell'energia solare; i costi relativi ai collegamenti, ai suoli, alle concessioni e alla manodopera costituiscono ora il grosso delle spese. La produzione di moduli più efficienti contribuirebbe a ridurre il numero di pannelli necessari a produrre la stessa quantità di energia, per cui il costo dell'hardware e dell'installazione verrebbe considerevolmente ridotto. «In un paio di anni», conclude Atwater, «non avrà senso lavorare a tecnologie con un'efficienza inferiore al 20 per cento». ■

Mike Orcutt è responsabile del servizio ricerche della edizione americana di MIT Technology Review.

TECNO

Supergrid

Un interruttore di circuito ad alta potenza potrebbe finalmente rendere pratiche le reti elettriche a corrente continua.

Kevin Bullis

Le linee ad alto voltaggio di corrente continua possono trasportare efficacemente l'elettricità per migliaia di chilometri, e per lunghe distanze sott'acqua, superando in prestazioni le linee di corrente alternata che dominano le reti elettriche odierne. Per un secolo, però, la corrente alternata ha prevalso su quella continua perché questa poteva essere utilizzata unicamente per trasmissioni da un punto a un altro e non per formare le intricate reti elettriche necessarie a garantire un sistema elettrico stabile.

Il gruppo svedese ABB ha risolto la principale barriera tecnica delle reti a corrente continua, sviluppando un pratico interruttore di circuito ad alto voltaggio di corrente continua, che disconnette parti della rete in difficoltà, permettendo al resto della rete di continuare a funzionare.

Le reti a corrente continua potrebbero diventare più efficienti nel connettere fonti di energia rinnovabile distanti, permettendo agli operatori di bilanciare le variazioni locali nell'energia e portare la corrente in regioni meno colpite da Sole o venti.

L'energia solare dal Sahara potrebbe alimentare la Germania, mentre l'energia eolica dell'intera Europa potrebbe alimentare l'illuminazione notturna. Il risultato: più fonti affidabili di energia rinnovabile sarebbero capaci di competere con i combustibili fossili. ■

Kevin Bullis è caposervizio per l'energia della edizione americana di MIT Technology Review.

Protagonisti

- ABB
- Siemens
- EPRI
- General Atomics



Sopra, nel laboratorio della ABB in Svezia, strumenti quali gli scudi a corona – dischi lucidati e uniti tra loro per formare delle sfere – vengono utilizzati per collaudare un interruttore di circuito ad alto voltaggio di corrente continua.

Sotto, un centro di simulazione sviluppa sistemi di controllo per reti a corrente continua. A destra, alcuni tecnici della ABB in una stazione di conversione della corrente continua in corrente alternata.

Fotografie: per gentile concessione di ABB.



Orologi Smart

I designer dell'orologio Pebble hanno capito che un telefono cellulare è più utile se non si deve tirarlo fuori dalle tasche.

John Pavlus

Eric Migicovsky non voleva realmente un "computer indossabile". Quando, cinque anni fa, immaginò per la prima volta ciò che sarebbe in seguito divenuto lo smartwatch Pebble, Migicovsky, che era ancora studente di industrial design presso la Deft University of Technology nei Paesi Bassi, stava semplicemente cercando un sistema per utilizzare il suo smartphone senza cadere dalla bicicletta. «Avevo pensato di creare un orologio che raccogliesse le informazioni dal mio cellulare», spiega il giovane canadese di 26 anni. «Alla fine ho costruito un prototipo nel dormitorio».

Ora, Migicovsky sta spedendo 85mila orologi Pebble agli impazienti clienti che preferiscono lasciare in tasca il loro fragile pezzo di vetro per controllare le e-mail o le previsioni del tempo.

Pebble utilizza il bluetooth per connettersi senza fili all'iPhone o a un telefono Android e ricevere notifiche, messaggi e altri semplici dati selezionati dall'utente sul suo piccolo schermo LCD in bianco e nero. Nell'aprile 2012, utilizzando Kickstarter, la piattaforma online di raccolta fondi, Migicovsky ha chiesto 100mila dollari per riuscire a portare Pebble sul mercato. Cinque settimane dopo, aveva raccolto oltre 10 milioni di dollari, diventando l'azienda con il più alto incasso mai raggiunto tramite Kickstarter. D'un tratto, gli smartwatch sono divenuti un importante settore produttivo: Sony è entrata nel mercato l'anno scorso, Samsung sta per fare altrettanto, e Apple seguirà prossimamente.

Protagonisti

- Pebble
- Sony
- Motorola
- MetaWatch



Fotografia di Peter Belanger

Anche se l'orologio Pebble da 150 dollari può venire utilizzato per controllare la playlist musicale o semplici app come RunKeeper, un'app di fitness basata sul cloud, Migicovsky e il suo team hanno appositamente sviluppato l'orologio per fargli fare il meno possibile, lasciando ai telefoni cellulari la gestione delle app più complicate.

Lo sforzo di rendere l'orologio facilmente leggibile ne ha influenzato il design complessivo. Lo schermo bianco e nero, per esempio, può venire letto sotto la luce diretta del Sole e visualizza costantemente i contenuti senza ricorrere a una modalità di spegnimento temporaneo per conservare energia, come gli schermi a colori o touch-screen.

Questi orologi entrano nel mercato pochi mesi prima di Google Glass, che è un altro tentativo di risolvere il problema

affrontato dal Pebble, cioè l'interazione con i telefoni portatili, che «ha degli effetti collaterali che non dovrebbero esserci», come precisa Mark Rolston, responsabile della struttura creativa della Frog Design. Google Glass proverà a sostituire completamente i telefoni cellulari combinando un computer e un monitor al telaio di un paio di occhiali, così da permettere agli utenti di "aumentare" la loro vista del mondo con i dati. Ciò si allinea alle previsioni sull'avvento dei computer indossabili, ma è facile capire perché l'idea del Pebble è più popolare. Utilizzando un orologio – un accessorio classico – la Pebble sta cercando di adattarsi ad abitudini sociali diffuse invece di crearne di nuove. ■

John Pavlus è collaboratore della edizione americana di MIT Technology Review.

INFO

Pronto, parla il mondo

L'analisi d'informazioni raccolte dai telefoni cellulari può fornire sorprendenti scorci del comportamento e degli spostamenti delle persone, aiutando persino a comprendere la propagazione di una malattia.

David Talbot

L'epidemiologa Caroline Buckee, della Harvard School of Public Health di Boston, indica un segno su una mappa delle alture occidentali del Kenya, visualizzata sullo schermo del suo ufficio. Quel segno si riferisce a una delle migliaia di torri cellulari del paese. Nella lotta alla malaria, spiega la Buckee, i dati trasmessi da questa torre al vicino paese di Kericho sono oro per un epidemiologo.

Quando con i suoi colleghi ha studiato i dati, ha scoperto che le persone che telefonavano o inviavano messaggi di testo in prossimità di Kericho facevano 16 volte più viaggi rispetto alla media regionale. Oltretutto, avevano una probabilità tre volte superiore di visitare una regione a nord est del Lago Victoria, che i rapporti del ministero della salute avevano identificato come un punto caldo della malaria. Il campo della torre copriva dunque un'importante via di passaggio per la trasmissione della malaria, che può passare da un umano a un altro attraverso le zanzare.

Le immagini satellitari hanno poi rivelato il potenziale colpevole di queste attività: una piantagione di tè molto attiva e probabilmente colma di lavoratori pendolari.

Le conseguenze erano dunque chiare per la Buckee: «In quel posto ci sarà una quantità di persone infette».

Questo studio rientra in una nuova serie di modelli previsionali a cui sta lavorando e che mostrano per esempio che, nonostante fossero stati individuati casi di malaria nella piantagione, un intervento in quel punto specifico avrebbe avuto un

minore effetto sulla diffusione della malattia rispetto a un'azione mirata sul punto di origine: il Lago Victoria. Da molto tempo, infatti, quella regione è stata identificata come una importante fonte di malaria, ma finora non erano disponibili informazioni dettagliate sulle abitudini delle persone che vi si recano: quante persone vanno e vengono, quando arrivano e quando ripartono, dove sono dirette e quali di queste destinazioni attraggono le persone che sono solite proseguire poi verso nuove destinazioni.

Gli attuali sforzi per raccogliere i dati di viaggio sono sommari; come ci spiega la Buckee, spesso gli operatori sanitari devono letteralmente contare le persone che percorrono punti nodali, mentre le infermiere che lavorano in cliniche remote devono chiedere a vittime «fresche» della malaria dove sono state di recente. «Presso molti dei confini in Africa, le guardie conservano foglietti di carta per segnare il passaggio delle persone, ma spesso e volentieri questi foglietti vengono persi o addirittura non vengono utilizzati». «Disponiamo», aggiunge la Buckee, «di estratti o modelli generali degli schemi di viaggio delle persone, ma non siamo mai riusciti a raccogliere questi dati in maniera adeguata».

La raccolta sistematica dei dati contribuirà all'elaborazione e all'attuazione di nuove misure che molto probabilmente includeranno campagne di messaggi di testo mirati ed economici, per avvertire per esempio i visitatori che entrano nell'area di copertura della torre di Kericho di utilizzare zanzariere per i letti. Aiuterà inoltre gli enti a determinare dove concentrare gli sforzi per il controllo delle zanzare nelle aree affette da malaria. «Non si può certo disinfestare sempre ogni pozzanghera, ma se si è a conoscenza di una particolare regione dalla quale si propaga la malaria, si può puntare al controllo di quella regione», dice la Buckee.

Lo studio più recente della Buckee, pubblicato l'anno scorso su «Science» e basato sulla raccolta di dati da 15 milioni di telefoni cellulari in Kenya, è il risultato della collaborazione con il marito, Nathan Eagle, che da oltre un decennio è impegnato nell'analisi dei dati raccolti dai telefoni cellulari. Verso la metà del 2000, dopo avere iniziato la raccolta di dati dai telefoni cellulari di volontari del MIT, Eagle ha

cominciato a ricevere telefonate da operatori di telefonia mobile che erano interessati a scoprire per quale motivo i clienti cambiavano i loro abbonamenti. Eagle ha così cominciato a collaborare con loro. Trascorrendo 18 mesi in Africa a partire dal 2006 – nel corso dei quali la Buckee ha condotto ricerche sulla genetica del parassita della malaria – Eagle ha studiato dati con vari fini, nell'intento di comprendere fenomeni quali le divisioni etniche nei bassifondi di Nairobi e la diffusione del colera in Ruanda. I risultati ottenuti dalla Buckee dimostrano le potenzialità della tecnologia quando viene mirata sulla sanità pubblica. «I risultati dimostravano che possiamo davvero fornire, non solo informazioni, ma realizzare qualcosa di concreto», spiega Eagle, oggi CEO della Jana, che esegue sondaggi su telefoni cellulari nel mondo in via di sviluppo.

Questa dimostrazione suggerisce come la raccolta di simili dati possa servire a realizzare strumenti attraverso cui operatori sanitari e governi possono individuare e monitorare le epidemie.

La raccolta di dati dai telefoni cellulari potrebbe risultare particolarmente utile nelle regioni povere, dove spesso vi è carenza o addirittura assenza di infrastrutture per la raccolta di informazioni. «Siamo appena all'inizio della utilizzazione dei dati per questi fini», dice Vincent Blondel, docente di matematica applicata presso l'Università di Lovanio in Belgio e ricercatore nell'analisi di dati cellulari. «L'adozione esponenziale di telefoni cellulari in ceti bassi e la nuova apertura di alcune compagnie telefoniche verso il rilascio di tali informazioni porteranno a nuovi strumenti tecnologici che potrebbero cambiare tutto».

Tabula rasa

I sei miliardi di telefoni cellulari nel mondo generano quantità immense di dati, incluse informazioni sulla posizione, l'attività commerciale, le ricerche e i link ai social network e, di quei sei miliardi di telefoni, cinque miliardi si trovano in paesi in via di sviluppo. Molti sono telefoni economici che possono fare poco oltre a semplici telefonate o messaggi di testo, che però, associati a torri cellulari, forniscono un sistema grezzo, ma efficace, per monitorare gli spostamenti di una persona. È



A sinistra, Caroline Buckee, epidemiologa di Harvard, sta utilizzando dati dettagliati, raccolti dai telefoni cellulari, sugli spostamenti della popolazione per realizzare nuovi strumenti per la lotta alla propagazione della malaria.

A destra, Nathan Eagle, CEO della Jana, che esegue sondaggi sui telefoni cellulari, dice che gli operatori di telefonia mobile mondo possiedono una miniera di dati. La diffusione di questi dati richiederà la realizzazione di nuove misure di protezione della privacy.

sufficiente aggiungere la diffusione di sistemi di pagamento mobile per semplici operazioni commerciali e ci si trova a disporre del materiale necessario a fornire informazioni non solo legate all'epidemiologia, ma anche al tasso di assunzioni, alle tensioni sociali, alla povertà, ai trasporti e all'attività economica di un paese.

La prospettiva di raccogliere dati dai telefoni cellulari è particolarmente interessante nei paesi poveri, dove informazioni dettagliate e aggiornate su questi temi sono scarse. «Nel mondo in via di sviluppo, non esistono censimenti funzionanti e non si dispone sempre di una infrastruttura governativa per la raccolta di dati», dice Alex “Sandy” Pentland, direttore dello Human Dynamics Lab del MIT, che da tempo si interessa dei dati contenuti nei telefoni cellulari. «Tutto a un tratto, la sola cosa di cui si dispone – telefoni cellulari ovunque, specialmente a partire dagli ultimi anni – può fornire l'equivalente delle infrastrutture esistenti nel mondo sviluppato».

Quando una telefonata si connette a una determinata stazione, questa registra il numero del telefono e la durata della conversazione; nel corso del tempo, questa informazione può consentire di farsi un'idea degli spostamenti regionali di una persona e dei suoi contatti. Anche i registri degli acquisti agricoli potrebbero venire utilizzati per prevedere le scorte e l'eventuale carenza di cibo. Dati finanziari raccolti dai pagamenti via sistemi mobili permetterebbero di aiutare milioni di persone ignare di contabilità a richiedere prestiti convenzionali. Certi schemi di mobilità potrebbero associarsi alla diffusione di una malattia; schemi di acquisto potrebbero significare che una persona ha cambiato o perso il lavoro; cambiamenti nel comportamento o negli spostamenti potrebbero associarsi alle conseguenze di una malattia.

Una impressionante dimostrazione dell'utilità dei dati tratti da semplici telefoni cellulari è stata fornita a seguito del terremoto di Haiti nel gennaio del 2010, in

cui morirono più di 200mila persone. I ricercatori del Karolinska Institute, in Svezia, hanno ottenuto i dati della Digicel, il principale operatore di reti cellulari di Haiti. Dopo avere esaminato gli spostamenti quotidiani di due milioni di cellulari – da 42 giorni prima del terremoto a 158 giorni dopo – hanno concluso che 630mila persone che si trovavano a Port-au-Prince il giorno del terremoto, erano riuscite a lasciare la città nel giro di tre settimane. Hanno inoltre dimostrato che simili calcoli possono venire eseguiti quasi in tempo reale, mostrando quante persone erano riuscite a evacuare una zona colpita da un'epidemia di colera, e dove si erano dirette, ad appena 12 ore di distanza dalla ricezione dei dati.

L'aspetto più importante è che questa ricerca ha portato alla elaborazione di un modello che potrebbe guidare la risposta a disastri futuri. Dopo avere analizzato i dati sugli spostamenti prima del terremoto, il gruppo svedese ha scoperto che gli abitanti

ti di Haiti si sono allontanati dalla città per andare nei luoghi in cui avevano trascorso il Natale o il Capodanno. Questa scoperta ha reso possibile la previsione della direzione che le persone prenderebbero in caso di un nuovo disastro.

Incremento di portata

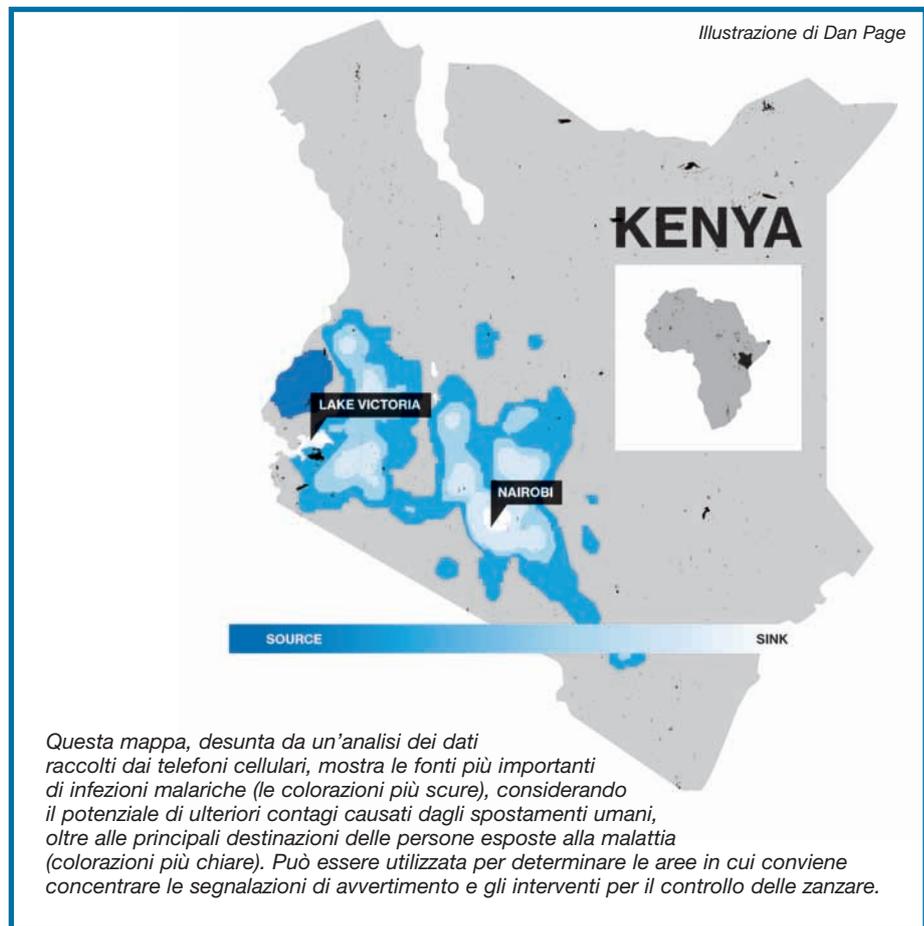
Fino a non molto tempo fa gli studi venivano condotti da ricercatori che raggiungevano speciali accordi con gli operatori telefonici per raccogliere i dati (Eagle aveva raggiunto un accordo attraverso le sue connessioni accademiche). L'anno scorso però, Orange, il gigante francese delle telecomunicazioni, ha rilasciato alla comunità mondiale di ricercatori – con certe condizioni e restrizioni – dati basati sui registri anonimizzati di 2,5 miliardi di telefonate effettuate da 5 milioni di persone nella Costa d'Avorio.

La prima fase di questo grande esperimento comporta la realizzazione di quanto sia possibile fare con questi dati.

Un centinaio di gruppi di ricerca nel mondo ha colto l'opportunità di analizzare questi registri. Le valutazioni conseguenti sono state presentate a maggio nel corso di una conferenza al MIT sui progetti di *data mining* sia nel mondo ricco, sia in quello povero. «Per la prima volta un insieme di dati raccolti da telefoni cellulari viene rilasciata in tali quantità», dice Blondel, che ha coordinato la conferenza. Uno dei documenti raffigura le interazioni sociali e gli spostamenti lungo una tradizionale divisione etnica tra nord e sud, fornendo informazioni su come evitare un conflitto; un altro documento propone strumenti per l'individuazione di epidemie sul nascere.

Tuttavia, anche se l'esperimento nella Costa d'Avorio dovesse avere successo, raggiungere simili risultati in altri paesi potrebbe non essere altrettanto semplice. L'anno scorso, il World Economic Forum – il gruppo di industriali, accademici e politici, che si riunisce ogni anno a Davos, in Svizzera – ha lanciato un invito a governi, organizzazioni per lo sviluppo e imprese, per realizzare gli strumenti di analisi dei dati con cui migliorare la qualità della vita nel terzo mondo.

«Non dovrei essere costretto a rivolgermi agli operatori delle reti mobili e a offrire loro consulenza gratuita per analizzare dati che permetterebbero di migliorare la



vita di molte persone», dice Eagle. «Gli operatori dovrebbero desiderare di affiliarsi a una simile iniziativa».

Sarà necessario prestare attenzione alla protezione della privacy e al possibile impiego di questi dati come sistema di oppressione. Orange ha dichiarato di avere faticato non poco per anonimizzare i dati, ma il campo necessita di sistemi chiari e ampiamente riconosciuti per portare le informazioni sul mercato. Secondo Pentland, è necessario chiarire chi sia il proprietario di questi dati e chi possa controllarli. Orange sta muovendo i primi passi verso la definizione di standard che inducano una maggiore trasparenza, responsabilità ed efficienza, per determinare dove si stiano verificando eventi insoliti ed estremi. Questi dati possono tornare utili in molti modi, ma prima di tutto devono essere disponibili.

Mentre queste grandi questioni cominciano a emergere, Buckee e Eagle sono impegnati ad affinare e potenziare gli strumenti di *data mining* in Kenya.

Spesso, i soli registri delle telefonate non bastano: una volta, analizzando dei dati in Ruanda, Eagle aveva notato che le persone non si erano mosse molto dopo un'alluvione.

All'inizio, aveva teorizzato che molte di queste persone fossero state costrette a letto dal colera, ma aveva poi scoperto che l'alluvione aveva distrutto le strade.

Buckee spera di raccogliere dati dai cellulari per individuare ceppi del parassita della malaria che resistono ai farmaci. Questi ceppi, che stanno emergendo in Cambogia e altrove, potrebbero invertire i progressi fatti finora se dovessero diffondersi. Per questo motivo intende combinare i dati riguardanti la diffusione del parassita ai modelli di mobilità, così da produrre strategie mirate alla lotta della malattia: «Se vogliamo sradicare la malaria, è così che riusciremo a farlo». ■

David Talbot è corrispondente della edizione americana di MIT Technology Review.

Social media provvisori

Messaggi che si autodistruggono rapidamente, per aumentare la tutela della privacy nelle comunicazioni on-line e per stimolare gli utenti a una maggiore spontaneità.

Jeffrey Rosen e Christine Rosen

Un aspetto fondamentale della privacy è la capacità di controllare la quantità di informazioni personali che riveliamo agli altri. Purtroppo abbiamo perso gran parte di questa capacità ora che ogni fotografia, chat o aggiornamento del proprio profilo, postati sul sito di un social media, possono venire archiviati nel cloud. Anche se intendiamo condividere queste informazioni con qualcuno, ciò non significa automaticamente che vogliamo renderle per sempre disponibili, fuori dal loro contesto. Il peso del nostro passato digitale si sta rivelando come la sfida più difficile in tema di privacy.

Ma cosa accadrebbe se le persone fossero in grado di cancellare automaticamente i propri messaggi, rendendo i social media più simili alle conversazioni quotidiane, che di fatto non vengono registrate per i posteri? Questa è la promessa di servizi come Snapchat, un'applicazione per dispositivi mobili, il cui successo è aumentato considerevolmente nell'ultimo anno. Evan Spiegel e Bobby Murphy, conosciuti a Stanford da studenti, sono venuti fuori con questa idea due anni fa, quando il senatore dello Stato di New York, Anthony Weiner, pubblicò accidentalmente alcune sue fotografie compromettenti e fu costretto alle dimissioni. Snapchat permette all'utente di fare fotografie e brevi video e di decidere per quanto tempo potranno restare visibili al destinatario. Dopo 10 secondi, o anche meno, le immagini scompaiono per sempre (non a caso la mascotte di Snapchat è un fantasma che sorride).

Il servizio ha subito riscosso successo presso i teenager in cerca di un mezzo più

riservato per l'invio di fotografie sexy. Ma lo scambio di messaggi a sfondo sessuale non può giustificare da solo i 100 milioni di fotografie e di video che ogni giorno vengono scambiati su Snapchat. Mark Zuckerberg deve preoccuparsi che Snapchat renda manifesti i dubbi sulla privacy, che gli utenti nutrono nei confronti di Facebook. Non a caso, lo scorso dicembre Facebook ha lanciato un'applicazione, che è una copia di Snapchat, chiamata Poke.

Perché i social media provvisori riscuotono tutto questo successo? I fondatori di Snapchat hanno più volte affermato che la loro intenzione era quella di fornire agli utenti un mezzo di espressione, che andasse oltre gli autoritratti idealizzati nei siti dei social media. Gli scambi di messaggi su Snapchat possono essere molto più eccitanti, rispetto agli scambi sugli altri social media, perché si tratta di messaggi destinati a svanire. Mentre Facebook e Twitter registrano e archiviano ogni banale osservazione e ogni fortuito scambio di informazioni, il modo di comunicare nei social media provvisori somiglia ai veloci scambi di conversazione, in cui è possibile esprimersi liberamente, senza preoccuparsi che finisca per sempre nel nostro dossier digitale.

Anche se il ruolo di Snapchat come anti Facebook rappresenta una parte determinante del suo successo, alla fine anche i suoi fondatori dovranno confrontarsi con alcune delle stesse sfide in tema di privacy, che hanno tormentato Facebook. Snapchat presenta un limite tecnologico prevedibile: le immagini destinate a scomparire, possono comunque venire salvate qualora il ricevente utilizzi un dispositivo di cattura delle immagini dello schermo. Snapchat ne darà notifica al mittente, ma sarà comunque tardi per impedire che l'immagine venga salvata e condivisa.

Ma a prescindere dal destino specifico di Snapchat, l'idea di avere dei social media provvisori è di notevole importanza, poiché la capacità di essere diretti e spontanei con chi si vuole, costituisce l'essenza dell'amicizia e della creatività. Facebook e Twitter rendono ciò possibile, permettendo ai propri membri di isolare i messaggi dal resto del mondo e di dividerli solo con persone fidate. Tuttavia, poiché questi messaggi resteranno disponibili on-line,



Illustrazione di Brian Cronin

questa capacità di circoscrivere la condivisione presenta dei limiti di natura tecnologica. Nella misura in cui ci consentono un maggior controllo sulla nostra esposizione mediatica personale, i social network provvisori costituiscono un primo passo verso una tipologia di connessione digitale più articolata, in grado di conciliare il nostro desiderio di condivisione con quello di riservatezza e di privacy. ■

Jeffrey Rosen, docente di giurisprudenza presso la George Washington University, è responsabile degli affari legali presso il "The New Republic".

Christine Rosen, borsista presso la New America Foundation, è direttore di "The New Atlantis: A Journal of Technology & Society".

Protagonisti

- Snapchat
- Gryphn
- Burn Note
- Wickr

INFO

Odissea nel cervello

Con lo sviluppo incessante della capacità di calcolo, i computer sono in grado di riconoscere oggetti e comprendere il linguaggio in tempo reale.

L'intelligenza artificiale ha mantenuto le sue promesse.

Robert D. Hof

Lo scorso luglio, quando Ray Kurzweil ha incontrato Larry Page, l'amministratore delegato di Google, non era alla ricerca di un lavoro. L'inventore, imprenditore e scrittore Kurzweil, che nelle sue opere ha spesso fatto riferimento a tecnologie del futuro, voleva discutere del suo libro in uscita *How to create a mind*. La sua intenzione era di illustrare a Page, che aveva già letto una prima stesura del testo, il suo progetto per la produzione di un computer realmente intelligente; un computer in grado di comprendere il linguaggio, di fare deduzioni logiche e di prendere decisioni.

Fu subito chiaro che per portare a termine una simile operazione erano necessari la potenza di calcolo e l'accesso ai dati di un'azienda importante come Google. «Potrei venire parzialmente incontro alle tue richieste», disse Page a Kurzweil, «ma non potrò fornire una collaborazione totale a un'azienda indipendente». Page propose quindi a Kurzweil, che in precedenza si era sempre occupato solo delle sue aziende, di unirsi a Google. Non passò molto tempo e nel gennaio del 2013 Kurzweil è diventato il responsabile di Google per i progetti relativi all'apprendimento delle macchine e all'elaborazione del linguaggio.

La decisione di Kurzweil è stata determinata non solo dalle risorse informatiche di Google, ma anche dall'impegno profuso da questa azienda nel campo dell'apprendimento profondo, una branca di studio dell'intelligenza artificiale. Il software per l'apprendimento profondo vuole replicare l'attività degli strati di neuroni della neo-

corteccia, il rugoso 80 per cento del cervello che ospita le funzioni cognitive superiori. Questo software apprende, in termini reali, come riconoscere le strutture delle rappresentazioni digitali di suoni, immagini e altri dati.

L'idea di base, che il software possa simulare l'azione della folta schiera di neuroni in una "rete neurale" artificiale, risale a qualche decennio fa e ha portato alternativamente a successi e fallimenti. Oggi, in virtù dei progressi delle formule matematiche e delle capacità dei computer, gli informatici sono in grado di modellare molti più strati di neuroni virtuali.

Questa maggiore "profondità" permette di ottenere risultati più avanzati nel linguaggio e nel riconoscimento delle immagini. Lo scorso giugno, il sistema di apprendimento profondo di Google, al quale erano state mostrate 10 milioni di immagini di video di YouTube, si è dimostrato due volte più efficace di qualsiasi altro tentativo precedente di riconoscimento delle immagini. Google ha anche sfruttato la tecnologia per migliorare il sistema di riconoscimento del linguaggio nel suo ultimo software per Android. In ottobre, il responsabile della ricerca di Microsoft, Rick Rashid, ha riscosso un grande successo durante una conferenza in Cina, con una dimostrazione di un software di sintesi vocale in grado di trascrivere le sue parole in testo inglese con un tasso di errore del 7 per cento, tradurle in lingua cinese e infine simulare la voce di Rick che parla in mandarino.

I ricercatori sperano che sia arrivato il momento per l'intelligenza artificiale di abbandonare il mondo della fantascienza. In effetti, i sistemi di intelligenza artificiale stanno già da qualche tempo trasformando il mondo, dalle comunicazioni computerizzate alla medicina, dalla produzione ai trasporti. Le potenzialità sono apparse evidenti nella vittoria del computer Watson di IBM al quiz televisivo *Jeopardy*. Watson utilizza alcune tecniche di apprendimento profondo e viene impiegato nei corsi di formazione per medici. Microsoft sfrutta l'apprendimento profondo nei sistemi di ricerca vocale di Bing e Windows Phone.

L'estensione dell'apprendimento profondo ad applicazioni diverse dal riconoscimento dell'immagine e del linguaggio richiederà ulteriori passi avanti in campo teorico, nello sviluppo del software e nella capacità di elaborazione. Probabilmente, non vedremo

macchine in grado di pensare autonomamente ancora per anni o decenni, se mai ci saranno. Ma al momento, sostiene Peter Lee, responsabile di Microsoft Research negli Stati Uniti, «l'apprendimento profondo ha ridato slancio ad alcune delle più grandi sfide dell'intelligenza artificiale».

La costruzione del cervello

Nel corso degli anni sono state battute le strade più diverse. Alcuni ricercatori hanno riempito i computer di regole e informazioni relative al mondo, obbligando i programmatori a scrivere software complesso su componenti quali il suono. Questo sistema ha richiesto tempi lunghi e non ha risolto il problema dei dati ambigui, limitandosi ad applicazioni rigide.

Le reti neurali, sviluppate negli anni Cinquanta non molto tempo dopo l'avvento della ricerca sull'intelligenza artificiale, sembravano promettenti perché simulavano il modo di funzionamento del cervello, anche se in forme semplificate. Un programma traccia un gruppo di neuroni virtuali e poi assegna un valore numerico casuale, o "peso", alle loro connessioni. Questi pesi determinano il tipo di risposta del neurone artificiale a una caratteristica digitalizzata come l'ombra di blu di un'immagine o una frequenza di un fonema, la singola unità di suono nelle sillabe pronunciate.

I programmatori dovrebbero "insegnare" alle reti neurali a riconoscere un oggetto o un fonema; a tal fine, bombardano la rete con versioni digitalizzate di immagini contenenti questi oggetti o con onde sonore relative ai fonemi in questione. Se la rete non riesce a distinguere con accuratezza la struttura proposta, un algoritmo dovrebbe riequilibrare i pesi. Il meccanismo ricorda da vicino il percorso dell'apprendimento del bambino, che accosta una serie di elementi: per esempio, i dettagli della testa di un cane, il comportamento, il tipo di pelo e il verso.

Ma le prime reti neurali potevano simulare solo un numero limitato di neuroni alla

Protagonisti

- Google
- Microsoft
- IBM
- Geoffrey Hinton, Università di Toronto



Illustrazione Jimmy Turrell

volta, non potendo riconoscere strutture di grande complessità. I tentativi si andarono spegnendo verso la fine degli anni Settanta.

A metà degli anni Ottanta, Hinton e altri scienziati ravvivarono l'interesse nelle reti neurali con i cosiddetti modelli "profondi" che sfruttavano molti strati di neuroni virtuali. Ma la tecnologia richiedeva ancora l'intervento umano, in quanto i programmatori dovevano etichettare i dati prima di metterli in rete. Inoltre, il discorso complesso o il riconoscimento dell'immagine richiedevano una potenza di calcolo superiore a quella allora disponibile.

Nell'ultimo decennio, tuttavia, Hinton e altri ricercatori hanno fatto degli importanti passi avanti teorici. Nel 2006, Hinton ha ideato un sistema più efficiente per il funzionamento dei diversi strati di neu-

roni. Il primo strato apprende le caratteristiche fondamentali, come il bordo di un'immagine o la più piccola unità sonora del discorso. Il riconoscimento avviene combinando i pixel digitalizzati o le onde sonore che si presentano più frequentemente di quanto sia ipotizzabile casualmente. Una volta che lo strato è in grado di identificare accuratamente queste caratteristiche, le trasmette allo strato successivo che si allena a riconoscere caratteristiche più complesse, come un angolo o una combinazione di fonemi. Il processo si ripete negli altri strati fino al riconoscimento completo dei fonemi e degli oggetti.

Lo scorso giugno, Google ha offerto una dimostrazione di una delle più grandi reti neurali a oggi, con oltre un miliardo di connessioni. Un team guidato da Andrew Ng,

professore di informatica a Stanford, e Jeff Dean, Fellow di Google, ha preso in considerazione una sequenza di 10 milioni di immagini scelte a caso da YouTube e il sistema è riuscito a riconoscere i diversi oggetti, non ricorrendo ad alcuna classificazione preventivamente fornita dagli esperti.

Ciò che ha maggiormente colpito gli scienziati, comunque, è stato il miglioramento nel riconoscimento dell'immagine. Il sistema categorizza correttamente soggetti e oggetti delle immagini di YouTube nel 16 per cento dei casi. Il dato potrebbe sembrare non eclatante, ma ottiene risultati superiori del 70 per cento ai metodi precedenti. Inoltre, quando al sistema è stato chiesto di selezionare le immagini in 1.000 categorie più generali, il tasso di risposte precise ha superato il 50 per cento.

Big data

L'addestramento dei diversi strati di neuroni virtuali ha richiesto il dispiegamento di 16mila processori, vale a dire l'infrastruttura informatica che Google utilizza per il suo motore di ricerca e per altri servizi. Almeno l'80 per cento dei recenti progressi dell'intelligenza artificiale si possono attribuire alla disponibilità di una maggiore potenza di calcolo, afferma Dileep George, uno dei fondatori della startup Vicarious, che opera nel campo dell'apprendimento automatico.

Ma non si tratta solo delle dimensioni dei centri dati di Google. L'apprendimento profondo ha tratto vantaggio anche dal metodo aziendale di suddividere i compiti di calcolo tra più computer, in modo da effettuare queste operazioni più rapidamente. Dean ha contribuito a sviluppare questa tecnologia nei suoi 14 anni di carriera a Google.

L'apprendimento profondo ha già migliorato la ricerca vocale su smartphone. Fino allo scorso anno, il software Android di Google si affidava a un sistema che fraintendeva molte parole. Ma, a luglio 2012, in previsione dell'uscita di una nuova versione di Android, Dean e il suo gruppo hanno modificato parte della configurazione della sintesi vocale con un sistema basato sull'apprendimento profondo. Poiché i multistrati di neuroni vengono addestrati a riconoscere più varianti del suono, la tecnologia è diventata più affidabile, specialmente in ambienti rumorosi come le fermate della metropolitana. Il risultato immediato è stato che il numero di errori è crollato del

25 per cento, al punto che molti esperti ora ritengono il sistema di ricerca vocale di Android superiore a quello di Siri, l'assistente vocale di Apple.

Malgrado tutti questi progressi, sussistono forti dubbi che l'apprendimento profondo possa portare l'intelligenza artificiale a uguagliare quella umana. Alcuni critici sostengono che l'apprendimento profondo e l'intelligenza artificiale ignorano troppi aspetti della biologia del cervello, privilegiando il calcolo puro.

Uno di loro è Jeff Hawkins, fondatore di Palm Computing. La sua ultima iniziativa imprenditoriale, Numenta, sta lavorando a un sistema di apprendimento automatico che è biologicamente ispirato all'apprendimento profondo, ma non lo utilizza. Il sistema di Numenta è in grado di prevedere schemi di consumo energetico e le probabilità che una struttura come un motore a vento si possa bloccare. Hawkins, autore di *On Intelligence*, un libro del 2004 su come funziona il cervello e sulla possibilità di sfruttare questa conoscenza per costruire macchine intelligenti, sostiene che l'apprendimento profondo non riesce a rendere conto del concet-

to di tempo. I cervelli elaborano flussi di dati sensoriali e l'apprendimento umano dipende dalla capacità di richiamare sequenze di schemi e non le singole immagini fisse, come quelle utilizzate da Google nei suoi esperimenti.

Ma anche se le cose stanno come dice Hawkins, le risorse di calcolo messe in campo da un'azienda come Google per risolvere questi problemi rimangono insostituibili. Sono cruciali, affermano i sostenitori dell'apprendimento profondo, perché il cervello è ancora oggi molto più complesso di qualsiasi rete neurale. «Servirebbe una potenza di calcolo ancora superiore per portare avanti i nostri progetti», conclude Hinton.

Cosa riserva il futuro?

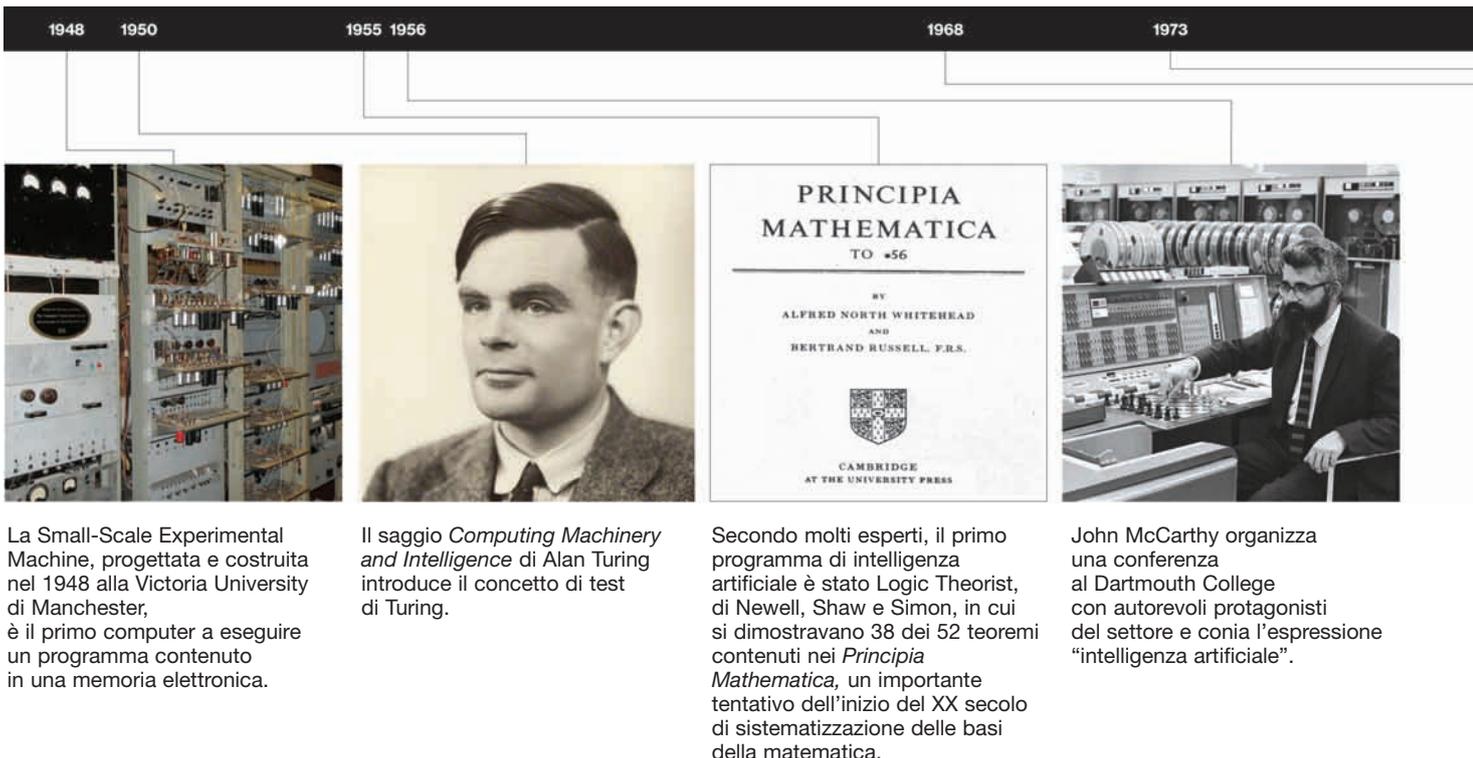
Anche se nuove applicazioni di Google non sono imminenti, le prospettive appaiono incoraggianti. Indubbiamente, lo sviluppo della ricerca di immagini potrebbe favorire servizi come YouTube. È possibile anche che sistemi di riconoscimento delle immagini più sofisticati permettano progressi spettacolari per le future automobili senza condu-

cente di Google. Infine ci sono i sistemi di ricerca e gli avvisi pubblicitari collegati, che potrebbero fare un balzo in avanti con una tecnologia più avanzata e più rapida a comprendere cosa gli utenti stanno realmente cercando, anche senza saperlo.

È questo mondo ad affascinare il 65enne Kurzweil, un pioniere degli studi sull'apprendimento meccanico. Al liceo, scrisse un software che permetteva al computer di creare musiche originali in diversi stili classici e lo presentò, nel 1965. Da allora, tra le sue invenzioni si possono annoverare una Reading Machine per leggere documenti, un software per scansionare e digitalizzare testo stampato in qualsiasi font, sintetizzatori per ricreare il suono degli strumenti orchestrali e un sistema di riconoscimento del discorso dotato di un vasto vocabolario.

Oggi, Kurzweil ipotizza un "amico cibernetico" che ascolta le nostre conversazioni telefoniche, legge le nostre e-mail, segue i nostri movimenti - sempre che lo vogliamo, ovviamente - in modo da poterci dire cosa desideriamo sapere ancora prima di chiederlo. Non si tratta di un obiettivo immediato di Google, ma coinci-

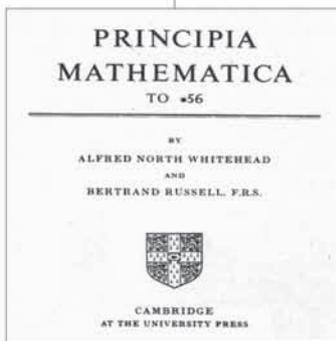
L'evoluzione dell'intelligenza artificiale



La Small-Scale Experimental Machine, progettata e costruita nel 1948 alla Victoria University di Manchester, è il primo computer a eseguire un programma contenuto in una memoria elettronica.



Il saggio *Computing Machinery and Intelligence* di Alan Turing introduce il concetto di test di Turing.



Secondo molti esperti, il primo programma di intelligenza artificiale è stato Logic Theorist, di Newell, Shaw e Simon, in cui si dimostravano 38 dei 52 teoremi contenuti nei *Principia Mathematica*, un importante tentativo dell'inizio del XX secolo di sistematizzazione delle basi della matematica.



John McCarthy organizza una conferenza al Dartmouth College con autorevoli protagonisti del settore e conia l'espressione "intelligenza artificiale".

de quasi totalmente con quello di Sergey Brin, il cofondatore di Google, che all'inizio della sua avventura aziendale voleva dare vita all'equivalente di Hal, il computer senziente di *2001: Odissea nello Spazio*, a eccezione dell'istinto omicida.

Al momento, Kurzweil vuole favorire lo sviluppo della comprensione e della produzione del linguaggio naturale nei computer. In sostanza, spera di creare una versione più flessibile di Watson di IBM, che suscita la sua ammirazione per la capacità di comprendere domande del quiz *Jeopardy!*.

Kurzweil non è interessato solo all'apprendimento profondo, anche se il suo approccio al riconoscimento del discorso si basa su teorie simili relativamente al funzionamento del cervello, ma vuole schematizzare il reale significato di parole e frasi, inclusi gli enunciati ambigui che mettono in difficoltà i computer, cioè la componente semantica del linguaggio.

Ciò comporterà l'adozione di una serie di strumenti in grado di rappresentare graficamente la sintassi delle frasi. Google sta già impiegando questo tipo di analisi per migliorare gli aspetti grammaticali delle

traduzioni. La comprensione del linguaggio naturale richiederà da parte dei computer la conoscenza di espressioni tipiche del linguaggio.

Infine Kurzweil intende sviluppare algoritmi d'apprendimento profondo per consentire ai computer di fare luce sulle "ambiguità del linguaggio". L'impresa può sembrare impossibile e in parte lo è, ma «la comprensione del linguaggio naturale non è un obiettivo che si può definire raggiunto una volta per tutte, come d'altronde è vero anche per la ricerca», sostiene Kurzweil. «Non credo che riuscirò mai a portare a termine questo progetto».

Anche se i progetti di Kurzweil sono al di là dal venire realizzati, l'apprendimento profondo non si limita ad applicazioni nel campo del discorso e del riconoscimento dell'immagine, ma si estende per esempio al settore della scoperta dei farmaci. La sorpresa arriva dalla vittoria del gruppo di Hinton in un concorso sponsorizzato dalla Merck, che ha consacrato l'importanza del programma di apprendimento profondo nel riconoscimento di molecole di molecole farmacologicamente attive.

Ma non è tutto. Peter Lee, di Microsoft, parla di alcune ricerche promettenti che sfruttano l'apprendimento profondo per la visione artificiale, vale a dire le tecnologie che utilizzano il riconoscimento dell'immagine per applicazioni nei collaudi industriali e nei sistemi robotici. Lee prevede anche l'avvento di sensori personali che le reti neurali profonde potrebbero sfruttare per individuare problemi di ordine medico. Questi sensori potrebbero anche aiutare a prevedere le congestioni del traffico.

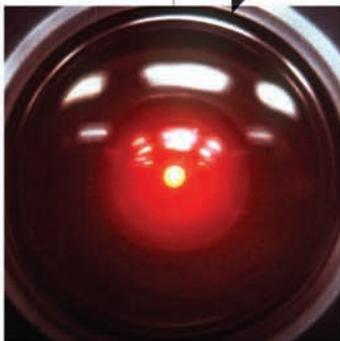
In un settore che cerca di spiegare il funzionamento della mente umana, è inevitabile che una sola tecnologia non risponda a tutte le domande. Ma, a oggi, questa tecnologia è quella di punta del mondo dell'intelligenza artificiale. «L'apprendimento profondo è una metafora vincente dell'apprendimento reale», conclude Dean. ■

Robert D. Hof è autore dell'articolo sulla Apple TV apparso sul numero 3/2013 di MIT Technology Review.

Da sinistra: Kggucwa/Creative Commons, National Portrait Gallery, London Uncredited Ap Photos, MGM/Photofest, UCL, Stan Honda/AFP/Getty Images, Ben Hider/Getty Images

1997

2011



Il film *2001: Odissea nello spazio* rende di pubblico dominio la nozione di intelligenza artificiale attraverso il computer HAL.



In una relazione a funzionari inglesi Sir James Lighthill parla di una «diffusa sensazione di delusione» per i mancati successi dell'intelligenza artificiale. Questo documento ha contribuito al rallentamento dei finanziamenti governativi nel periodo tra gli anni 1970 e 1980, il cosiddetto "inverno dell'intelligenza artificiale".



Il supercomputer Deep Blue di IBM sconfigge il campione del mondo Garry Kasparov in una sfida di sei partite. Kasparov aveva battuto i computer di IBM in due precedenti incontri.



Watson di IBM vince al quiz *Jeopardy!* battendo due tra i più agguerriti concorrenti di tutti i tempi.

INFO

Giri di memoria

Un neuroscienziato anticonformista crede di avere decifrato il codice con cui il cervello crea memorie a lungo termine, e di poterlo replicare artificialmente, per aiutare pazienti con disfunzioni cerebrali.

Jon Cohen

Theodore Berger, un ingegnere biomedico e neuroscienziato presso la University of Southern California, Los Angeles, immagina che, in un futuro non troppo lontano, un paziente con grave perdita di memoria potrà ricevere un aiuto da una protesi elettronica. Nelle persone con danni cerebrali da Alzheimer, infarto o lesioni, l'interruzione delle reti neuronali impedisce spesso alle memorie a lungo termine di formarsi. Per più di due decenni, Berger ha progettato chip di silicio che potessero imitare il segnale creato da quei neuroni quando funzionano correttamente, ovvero la funzione che ci permette di richiamare esperienze e conoscenze per più di un minuto. Sostanzialmente, Berger vuole ripristinare l'abilità di creare memorie di lungo termine impiantando chip come questi nel cervello.

Quest'idea è talmente audace e fuori dalla corrente principale della neuroscienza che molti dei suoi colleghi ritengono che rasenti la follia: «Mi dissero che ero pazzo già molto tempo fa», dice Berger con una risata, seduto in una sala conferenze vicino a uno dei suoi laboratori. Ma dato il successo dei recenti esperimenti portati avanti dal suo gruppo, Berger si sta liberando del marchio della pazzia e sta assumendo sempre più il ruolo di pioniere visionario.

Berger e i suoi colleghi non hanno ancora testato le loro protesi neurali su soggetti umani, ma i loro esperimenti mostrano come un chip di silicio, connesso esternamente a cervelli di ratti e scimmie, tramite elettrodi, sia in grado di processare informazioni esattamente come i

veri neuroni. «Non stiamo reinserendo memorie individuali nel cervello», dice. «Stiamo aggiungendo la capacità di generare memorie». In un rimarchevole esperimento pubblicato lo scorso autunno, Berger ha dimostrato di essere in grado di aiutare le scimmie a recuperare memorie a lungo termine da quella parte del cervello che le contiene.

Se un impianto per la memoria sembra ancora azzardato, Berger evidenzia altri recenti successi in neuroprotesica. Impianti cocleari aiutano oggi più di 200mila persone a udire meglio, convertendo suoni in segnali elettrici e inviandoli al nervo auditivo. Intanto, esperimenti in fase iniziale hanno mostrato come impianti di elettrodi possano permettere a una persona paralizzata di muovere braccia robotiche con il pensiero. Altri ricercatori hanno avuto successi preliminari con retine artificiali in persone cieche.

Ciò detto, ricostruire le capacità cognitive del cervello appare molto più difficile. Berger ha passato buona parte degli ultimi 35 anni tentando di comprendere domande fondamentali in merito al comportamento dei neuroni nell'ippocampo, una parte del cervello nota per essere coinvolta nella formazione della memoria: «L'ippocampo converte memorie a breve termine in memorie a lungo termine». Ma finora non è chiaro come l'ippocampo porti a termine quest'impresa complicata. Berger ha sviluppato teoremi matematici che descrivono come i segnali elettrici si muovano attraverso i neuroni dell'ippocampo per formare una memoria a lungo termine e ha dimostrato che le sue equazioni corrispondono a realtà. «Non è necessario fare tutto quanto fa il cervello, ma siamo almeno in grado di riprodurre almeno alcune funzioni basilari? In altre parole, è possibile creare un modello, tradurlo in un congegno reale e rendere questo congegno funzionante all'interno di qualsiasi cervello? Sono questi interrogativi che spingono la gente a pensare che io sia pazzo».

Decodificare il codice

Berger si esprime spesso con frasi lunghe come paragrafi e con molteplici incisi, note e digressioni. Gli chiedo di definire la memoria: «Una serie di impulsi elettrici che si succedono nel tempo, generati da un numero finito di neuroni». E aggiunge:

«Questa definizione è importante perché la si può implementare in una struttura fisica come il cervello, rendendone comprensibile il funzionamento in ragione di specifici eventi biologici e consentendo qualche forma di intervento, come per esempio l'inserimento di un elettrodo in grado di registrare qualcosa che corrisponda alla predetta definizione di memoria. Si possono identificare i 2.147 neuroni che fanno parte di questa memoria e che generano una serie di impulsi. Nulla di stravagante, ma qualcosa che si può capire e gestire».

Tuttavia, per la perpetua frustrazione di Berger, molti dei colleghi che esplorano questo campo del cervello non hanno ancora provato ad andare più in profondità. I neuroscienziati registrano i segnali del cervello monitorando i minimi cambiamenti di potenziale sulla superficie dei neuroni. Ma troppo spesso, dice Berger, tendono a semplificare eccessivamente ciò che succede in realtà: «Individuano un evento importante nell'ambiente circostante e calcolano le conseguenti reazioni elettriche, scoprendo che succede qualcosa, ma non cosa sia successo. Aumenta l'attività elettrica. E allora? Si tratta di codifica o di qualcosa del genere? Rappresenta qualcosa che il neurone successivo potrebbe trovare interessante portandolo a fare qualcosa di differente? Dovremmo essere in grado di spiegare le cose, non solo descriverle».

Berger prende un pennarello e riempie una lavagna bianca dall'alto al basso con una serie di cerchi che rappresentano i neuroni. Vicino a ognuno di essi, traccia una linea orizzontale che include diverse serie di segni. «Questo è lei nel mio cervello», dice. «Il mio ippocampo ha già creato una memoria a lungo termine di lei. Mi ricorderò di lei fino alla prossima settimana. Ma come la posso distinguere da altre persone? Nell'ippocampo esistono 500mila cellule che la rappresentano, codificando i suoi diversi particolari - il

Protagonisti

- Theodore Berger, USC
- Sam Deadwyler, Wake Forest
- Greg Gerhardt
University of Kentucky
- DARPA

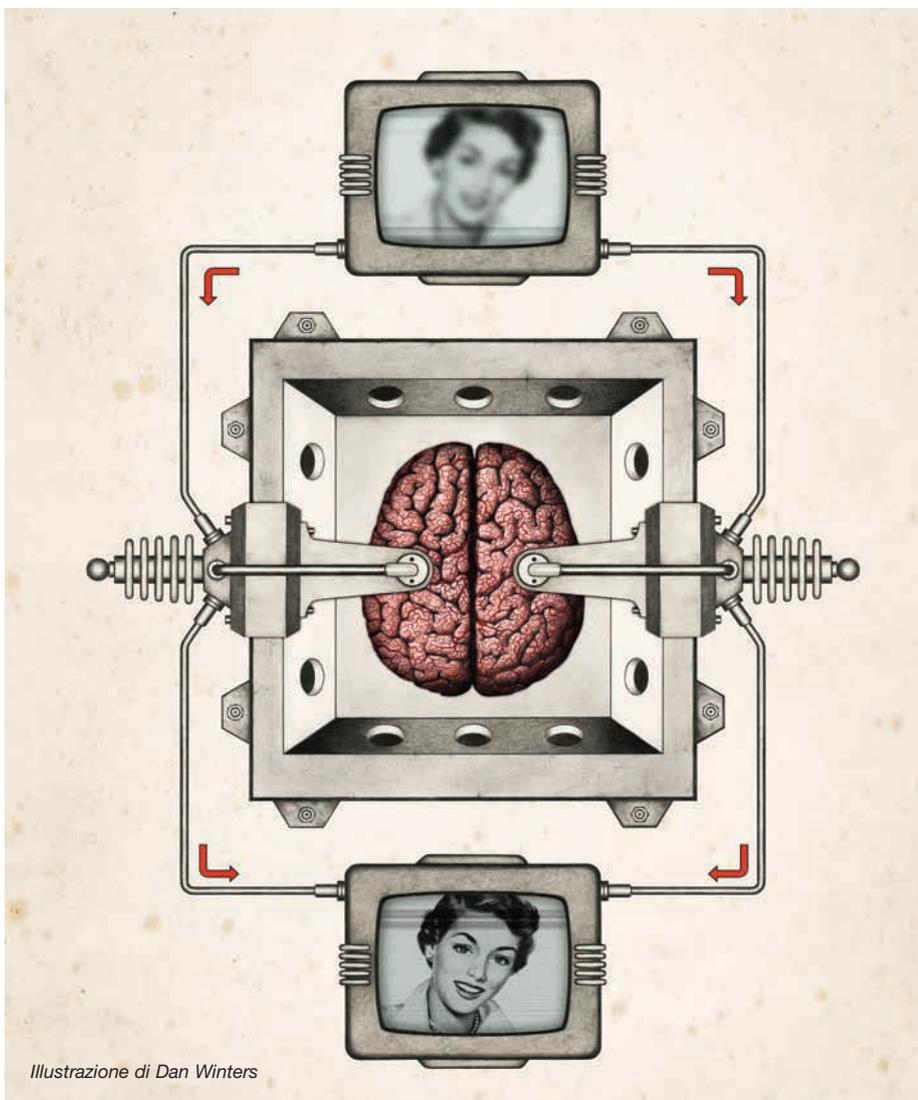


Illustrazione di Dan Winters

suo naso in rapporto al suo sopracciglio – secondo diversi schemi. Quindi la realtà del sistema nervoso è veramente complicata ed è questo il motivo per cui stiamo ancora ponendoci poche e limitate domande».

Ad Harvard, il mentore di Berger era Richard Thompson, il quale aveva studiato cambiamenti nel cervello localizzati e causati dall'apprendimento. Thompson aveva utilizzato un suono e un soffio d'aria per condizionare alcuni conigli a sbattere gli occhi, con l'obiettivo di determinare dove la traccia mnestica si fosse depositata e dove, quindi, si potesse localizzare l'apprendimento.

Secondo Berger, «se la parte del cervello del coniglio così individuata fosse stata rimossa, l'animale non avrebbe più

potuto ricordare lo stimolo condizionante». Thompson, con l'aiuto di Berger, fu in grado di ottenere esattamente questo risultato, pubblicandone i risultati nel 1976. Per identificare l'area cerebrale nei conigli, vi innestarono degli elettrodi che potessero monitorare l'attività di un neurone. I neuroni possiedono dei cancelli sulla loro membrana, che permettono a particelle cariche elettricamente come il sodio e il potassio di viaggiare dentro e fuori. Thompson e Berger documentarono i picchi elettrici rilevati nell'ippocampo quando i conigli sviluppavano una memoria. L'andamento di questi picchi finirono per formare degli schemi e secondo Berger non poteva essere una coincidenza che le cellule si attivassero in maniera così ripetitiva e regolare.

Questa constatazione lo portò a una domanda centrale che sta alla base del suo attuale lavoro: come le cellule ricevono e inviano segnali elettrici, quale schema può descrivere le relazioni quantitative tra i dati in entrata e quelli in uscita? Ovvero, quando un neurone si attiva, come si comportano i neuroni vicini? La risposta a questa domanda potrebbe rendere manifesto il codice che i neuroni usano per creare memorie a lungo termine.

Fu presto chiaro, però, come la risposta fosse estremamente complessa. Alla fine degli anni Ottanta, Berger, lavorando presso l'Università di Pittsburg con Robert Scwabass, fu colpito da una proprietà della rete neuronale nell'ippocampo. Quando veniva stimolato l'ippocampo di un coniglio con impulsi elettrici (l'input) e si schematizzava come i segnali si spostavano attraverso differenti popolazioni di neuroni (l'output), la relazione osservata non era lineare. «Diciamo che inserisci 1 e ottieni 2», dice Berger, «e questa è una relazione lineare. Il nostro risultato dimostrava invece che essenzialmente non esiste alcuna attività lineare nel cervello». I segnali si accavallano, con alcuni che sopprimono un impulso in arrivo e altri che lo accentuano.

Nei primi anni Novanta, la sua comprensione era avanzata a tale punto da essere in grado di collaborare con i suoi colleghi del reparto d'ingegneria presso la University of Southern California per costruire chip da computer che imitassero l'elaborazione dei segnali nell'ippocampo. «Era ovvio che se fossi stato in grado di trasferire questi schemi in un computer, si sarebbe simulata una parte del cervello», dice Berger. «Perché allora non collegare i due sistemi, quello naturale e quello artificiale? Cominciai così a pensare seriamente a protesi neuronali, molto tempo prima che altri le prendessero in considerazione».

Un impianto nel cervello

Berger cominciò a lavorare con Vasilis Marmarelis, un ingegnere biomedico presso la USC, per realizzare una protesi per il cervello. Ricorsero prima a sezioni dell'ippocampo dei ratti. Sapendo che i segnali neuronali si muovono da una parte all'altra dell'ippocampo, vi inviarono impulsi casuali e ne registrarono le trasformazioni. Ne derivarono poi formule matematiche



Theodore Berger ha speso la sua carriera cercando di capire come i neuroni formino tracce mnestiche. Fotografia: Misha Gravenor.

che descrivessero le trasformazioni e applicarono tali equazioni a chip di computer.

In seguito, per valutare se questi chip potessero venire utilizzati come protesi per un'area danneggiata dell'ippocampo, cercarono di creare dei corti circuiti tra una parte e l'altra del cervello, estraendone i segnali registrati dagli elettrodi, elaborandoli in un chip esterno e ritrasmettendoli all'interno del cervello.

La ricerca ha fatto un balzo avanti sperimentando con ratti vivi e dimostrando come un computer potesse in effetti servire da componente artificiale dell'ippocampo. I ratti venivano addestrati a spingere una leva o due per ricevere un premio, registrando la serie di impulsi nell'ippocampo quando sceglievano quella giusta. Utilizzando questi dati, Berger e il suo gruppo crearono un modello delle trasformazioni dei segnali mentre si realizzava la memoria a lungo termine e registrarono questo modello nel loro sistema computerizzato. Somministrarono poi una droga ai

ratti, che interferiva con la loro capacità di formare memorie a lungo termine, forzandoli a dimenticare quale leva fornisse il premio. Ma quando i ricercatori ne stimolavano il cervello drogato con i segnali derivanti dal loro sistema, i ratti erano nuovamente in grado di scegliere la leva corretta.

L'anno scorso gli scienziati pubblicarono esperimenti su primati che coinvolgevano la corteccia prefrontale, una parte del cervello che recupera le memorie a lungo termine create dall'ippocampo. Piazzarono elettrodi nel cervello delle scimmie per catturare il codice formato nella corteccia prefrontale, che pensavano permettesse agli animali di ricordare un'immagine mostrata loro in precedenza. Drogarono poi le scimmie con cocaina, che interferisce con quella parte del cervello. Utilizzando gli elettrodi impiantati per inviare il segnale corretto alla corteccia prefrontale delle scimmie, i ricercatori migliorarono significativamente la

prestazione delle scimmie stesse nel compito di riconoscere l'immagine.

Entro i prossimi due anni, Berger e i suoi colleghi sperano di impiantare un'effettiva protesi per la memoria negli animali. Vogliono inoltre mostrare che i loro chip ippocampali sono in grado di creare memorie a lungo termine in molteplici situazioni comportamentali.

Per altro, questi chip si basano su equazioni matematiche derivate da esperimenti localizzati e potrebbero, quindi, risultare circoscritti a compiti specifici. In altre parole, è possibile che ancora non sia stato decifrato l'intero codice, ma solo alcuni semplici messaggi. Berger accetta che questo potrebbe essere il caso e che i suoi chip siano in grado di creare memorie a lungo termine solo in un numero limitato di situazioni. Ma fa notare come la morfologia e la biofisica del cervello ne limitino i processi funzionali: in pratica, esiste solo un numero limitato di modi in cui i segnali elettrici nell'ippocampo possono venire trasformati. «Credo che saremo in grado di sviluppare un modello che funzioni bene in molte condizioni, anche se non tutte», dice. «L'obiettivo è quello di migliorare la qualità della vita di chi soffre di gravi mancanze di memoria. Se potrò ripristinare la capacità di formare nuove memorie a lungo termine in almeno metà delle condizioni in cui la gente vive, ne sarò felicissimo e penso anche la grande parte dei pazienti».

A prescindere dalle incertezze, Berger e i suoi colleghi stanno programmando studi sull'uomo, collaborando con medici che, presso la sua università, stanno testando l'uso di elettrodi impiantati da entrambe le parti dell'ippocampo per registrare e prevenire crisi in pazienti con gravi episodi di epilessia. Se il progetto procederà come immaginato, il gruppo di Berger seguirà gli esperimenti per cercare codici di memoria nei cervelli di quegli stessi pazienti: «Non avrei mai pensato di accostarmi al cervello umano, ma ora le nostre discussioni riguardano il come e il quando. Non avrei mai pensato che sarei vissuto abbastanza da vedere questo giorno, ma ora penso che riuscirò». ■

Jon Cohen è un giornalista freelance e un collaboratore della edizione americana di MIT Technology Review.

Prima di nascere?

Sequenziare il DNA del feto è la prossima frontiera della rivoluzione genomica. Ma davvero vogliamo conoscere il destino genetico di figli non ancora nati?

Antonio Regalado

Illumina, l'azienda che produce i sistemi di sequenziamento del DNA più utilizzati nel mondo, all'inizio del 2013 ha rilevato per quasi mezzo miliardo di dollari una startup di Redwood City, in California, Verinata, che vantava un fatturato quasi trascurabile. Il vero patrimonio di Verinata è una tecnologia in grado di ottenere un risultato inquietante sul piano etico, ma forse inevitabile: sequenziare il DNA di un feto umano ancora prima della nascita.

Verinata è solo una di almeno quattro aziende americane coinvolte in un mercato in rapido sviluppo come la diagnostica genetica prenatale basata sui sequenziatori Illumina. I test che queste imprese hanno rilasciato negli ultimi 18 mesi sono in grado di rilevare la sindrome di Down dalle tracce di DNA fetale presenti in un singolo prelievo ematico effettuato sulla madre. Fino a oggi, per diagnosticare la sindrome di Down bisognava prelevare alcune cellule del feto dalla placenta o dal liquido amniotico, procedure che comportano un margine di rischio abortivo.

Lo screening non invasivo è talmente più sicuro e semplice da essere diventato il test diagnostico con la curva di adozione più ripida di sempre e una importante applicazione clinica della strumentazione genetica Illumina, finora utilizzata soprattutto nei laboratori. All'epoca dell'acquisizione di gennaio, il CEO di Illumina Jay Flatley ha dichiarato agli investitori di prevedere l'impiego del test diagnostico da parte di almeno due milioni di donne all'anno negli Stati Uniti, pari alla metà del totale delle gravidanze, contro le 250 mila future madri, specie quel-

le di età più avanzata, che oggi si sottopongono ai test invasivi. «Nella storia della diagnostica medica non ci sono precedenti di tecnologie transitate così rapidamente dal laboratorio alla diffusione commerciale», ammette Diana Bianchi, responsabile esecutivo dell'Istituto di ricerca materna infantile della Tufts University e principale consulente clinico di Verinata.

Per il sequenziamento del DNA prenatale questo potrebbe essere solo l'inizio. Gli stessi laboratori e aziende che, come Verinata, hanno lanciato i test sulla sindrome di Down, hanno scoperto che è possibile ottenere molte più informazioni dal sangue delle mamme in attesa, fino alla sequenza completa del genoma del feto. Dal punto di vista tecnico è una scoperta rivoluzionaria, ma potrebbe esserlo anche sul piano commerciale. La gravidanza, con le sue speranze, ansie e frequenti visite mediche, potrebbe rappresentare per la genomica la prima vera applicazione su larga scala.

«Ritengo che saremo in grado di ottenere la sequenza, almeno parziale, di ogni singolo feto nei suoi primi tre mesi di vita», dichiara Arthur Beaudet, pediatra responsabile della genetica umana presso la facoltà di medicina del Baylor College di Houston. Oggi si studia la sequenza del genoma di alcuni pazienti per fare luce su eventuali malattie genetiche o patologie come il cancro, ma in futuro la gente non aspetterà che le malattie si presentino: «Lo sapremo al momento di nascere».

Tutto ciò non accadrà nel giro di poco tempo. Da un lato, riordinare la corretta sequenza del DNA del feto partendo dal sangue della madre richiede una grande quantità di successivi sequenziamenti e ciò rende l'operazione troppo costosa per un impiego routinario. Attualmente Illumina chiede 9.500 dollari per la sequenza genetica di una persona adulta e i tentativi di ricostruire l'intera sequenza del genoma di un feto costano ancora di più. Persistono poi diversi problemi tecnici: con il genoma fetale i risultati non sono ancora abbastanza accurati per autorizzare una diagnosi. Anche sul piano etico una tecnologia come questa è un vero e proprio campo minato. Quali scelte ci spingerà a fare la conoscenza del destino genetico dei nostri figli non ancora nati?

«Tecnicamente, tutto si potrà fare assai prima che si sappia se sia o no il caso di farlo», osserva Jay Shendure, specialista in genomica presso l'Università di Washington. Shendure collabora con Ariosa, uno dei concorrenti di Verinata. Nell'estate scorsa il suo fu uno dei due laboratori capaci di dimostrare come il genoma fetale potesse venire sequenziato già nel sangue materno. Secondo gli studi finora condotti sui feti, compresi quelli di cui egli stesso è responsabile, sono stati di tipo retrospettivo, basati cioè su campioni ematici conservati presso gli ospedali. Ma Shendure starebbe già collaborando con alcuni scienziati di Stanford per applicare la tecnologia a una gravidanza in corso. In altre parole, già entro l'anno potremmo avere il primo essere umano, il codice genetico del quale sia noto prima della nascita.

Un intero genoma

Nel 1997, un scienziato di Hong Kong chiamato Dennis Lo dimostrò che nel sangue di una donna incinta si possono trovare migliaia di miliardi di frammenti del DNA del suo bambino. Questo DNA ha origine da cellule della placenta morte e ormai destrutturate. In base alle stime di Lo, fino al 15 per cento del DNA individuabile nel DNA presente in sospensione nel flusso sanguigno della madre proviene dal feto. Una tecnica di sequenziamento rapido del DNA può estrarre un mare di informazioni da questi frammenti.

Per individuare la sindrome di Down, causa di disabilità cognitive e fisiche, i genetisti normalmente contano al microscopio il numero di cromosomi presenti nelle cellule fetali estratte nel corso di una procedura chiamata amniocentesi. Una copia in più del cromosoma numero 21 significa che il feto è affetto dalla sindrome, diagnosi che negli Stati Uniti induce il 65 per cento delle donne in gravidanza ad abortire.

Protagonisti

- Illumina
- Verinata
- Stanford University
- Jay Shendure, University of Washington



Il CEO di Illumina, Jay Flatley, guarda alle gravidanze come a un nuovo mercato per il sequenziamento del DNA.

Fotografia: Frank Ragoziensky / Wonderful Machine.

Per ricavare la stessa informazione da pochi millilitri di sangue, gli scienziati mettono in pratica un trucco suggerito dallo stesso Lo: sequenziano qualche milione di frammenti di DNA scelti a caso, spesso di una lunghezza compresa tra 50 e 500 “lettere” dell’alfabeto genetico. Poi, attraverso un software, mettono a confronto le diverse sequenze con la mappa dei cromosomi umani. Da qui resta un puro esercizio aritmetico: se un numero di frammenti maggiore del previsto coincide con il cromosoma 21, quella è la prova della presenza di un cromosoma in più e la probabilità che il feto sia affetto da sindrome di Down è elevata. Un metodo brillante perché non importa che il DNA della madre e quello del feto siano mescolati insieme o che siano di fatto identici in parte. Lo stesso approccio può servire per individuare le copie aggiunti-

ve, le cosiddette trisomie, dei cromosomi 18 e 13, come pure i cromosomi mancanti o i duplicati del cromosoma X, tutte cause di vari difetti congeniti nei neonati.

Nel luglio scorso, Stephen Quake, biofisico dell’Università di Stanford e fondatore scientifico di Verinata, ha dimostrato che, oltre a individuare i cromosomi di troppo, il sequenziamento del DNA nel sangue materno è in grado di rivelare, lettera dopo lettera, l’intero patrimonio genetico del feto. Un risultato simile è stato ottenuto nel laboratorio di Shendure e da due altri gruppi di ricercatori in Cina.

Ricostruire i sei miliardi di lettere dell’alfabeto chimico di un genoma fetale non è un lavoro semplice. Sono necessarie parecchie operazioni di sequenziamento in più per guardare “attraverso” il patrimonio genetico della madre. Shendure afferma che il conto complessivo sale a 50mila dollari e anche il laboratorio di Quake ha dovuto limitare i propri esperimenti dopo essere incorso in una simile spesa. Ma il lavoro è servito a dimostrare che la lettura del genoma può funzionare come test universale, non solo per i cromosomi aggiuntivi, ma anche per tutte le più comuni malattie congenite. Si tratta di condizioni patologiche come la fibrosi cistica o la beta-talassemia, che si verificano quando un individuo eredita due versioni del fattore di un determinato gene, una per ciascuno dei suoi genitori. Esistono circa tremila patologie di questo tipo, di cui conosciamo con precisione l’origine genetica.

Circa duecento altre patologie, compresi alcuni casi di autismo, sono causate da note duplicazioni o cancellazioni di segmenti più ampi di DNA. Un test genomico sarebbe in grado di diagnosticarle tutte.

Quake sostiene che la dimostrazione della possibilità di una completa lettura del genoma rappresenta una “logica estensione” della tecnologia che sottende a questi esperimenti. Molto meno chiara è la possibilità che un test universale del DNA diventi addirittura di routine nella prassi medica, alla stregua dei test diagnostici per la sindrome di Down, che sono molto più mirati. Alla domanda se conosceremo mai i genomi di tutti i bambini che nascono, il ricercatore risponde: «Perché dovremmo?». Quake aggiunge che il suo attuale obiettivo è quello di ren-



Stephen Quake ha dimostrato che è possibile sequenziare il genoma di un bambino non ancora nato.

Fotografia: Max Whittaker.

dere la tecnologia accessibile per consentire di avere le informazioni relative ai geni più importanti dal punto di vista medico.

Resta però difficile immaginare se i medici, o i genitori dei bambini, vogliano davvero averle, tutte queste informazioni. Illumina si è già trovata ad affrontare questo ostacolo con il sequenziamento del genoma individuale, con cui nel 2009 ha inaugurato la propria gamma di servizi rivolti a pazienti clinici e che stenta ancora a decollare. Oggi Illumina si trova a decodificare per ragioni mediche un solo genoma al giorno, per lo più dei casi di adulti malati di tumore o di giovani affetti da patologie misteriose. «In prospettiva, la sfida principale consiste nel dimostrare l’utilità del genoma», spiega Mostafa Ronaghi, responsabile delle tecnologie di Illumina.

Perché preoccuparsi?

A Illumina Jay Fletley è il manager che ha perfezionato l'acquisizione di Verinata. Il 59enne amministratore delegato ha guidato la propria azienda al traguardo del miliardo e mezzo di dollari di fatturato facendo meglio dei suoi concorrenti sul mercato dei sistemi di sequenziamento e riuscendo persino a resistere all'offerta ostile di 6,7 miliardi di dollari del gruppo farmaceutico Roche, il maggiore fornitore mondiale di kit diagnostici. Flatley ha convinto gli azionisti di Illumina a rifiutare l'offerta, impegnandosi a rendere la genomica una routine e a incrementare così i fatturati aziendali.

Da anni Flatley ripete che il sequenziamento del genoma diventerà un fatto acquisito per la medicina del futuro, affermando esplicitamente che un giorno ogni bambino riceverà la mappa del proprio genoma "alla nascita", o magari anche prima, nel corso della gravidanza. In un campo dominato dalle più audaci promesse mancate, Flatley gode di una reputazione di freddo realista, che spesso vede avverarsi le proprie previsioni: «Il fattore limitante non è la tecnologia. Sarà possibile farlo nel giro di un paio d'anni». Ma l'idea di un vero e proprio mercato è molto più futuribile: «Troppe persone reagirebbe in modo sostanzialmente negativo e per molte buone ragioni».

Il problema è che disporre di più dati sui tratti genetici del feto sommergerebbe medici e genitori d'informazioni che non sarebbero in grado di comprendere come agire di conseguenza. «Il sequenziamento genomico completo aprirà il vaso di Pandora», avverte Henry Greely, docente di diritto a Stanford, dove studia questioni di bioetica. «Disporremo dell'intera sequenza e un giorno potremmo essere in grado di cercare nasi dritti, o capelli ricci. Quanti genitori decideranno di abortire un feto a causa dei segni di una futura calvizie maschile? Non molti, penso, ma alcuni certamente». Essendo il DNA fetale rilevabile nel sangue materno già nei primissimi stadi della gravidanza — almeno nelle prime sei/otto settimane — l'interruzione della gravidanza potrebbe avvenire con relativa facilità.

Non passerà troppo tempo prima di trovarci davanti ai primi casi capaci di suscitare serie preoccupazioni sulle possibili tenta-

zioni eugenetiche. Proprio quest'anno, insieme ai suoi test per il conteggio dei cromosomi, Verinata ha cominciato a offrire analoghi test per la sindrome di Klinefelter, riconoscibile per la presenza di un cromosoma X in più nel maschio. Questa condizione che determina ridotti livelli di testosterone, presenza di tratti femminili e spesso infertilità, colpisce un neonato maschio su mille. Tra l'altro, la sintomatologia può essere talmente blanda che alcune delle persone colpite potrebbero non accorgersi di averla. Ciononostante, la metà delle donne decide di non portare a termine una gravidanza a rischio Klinefelter. Se i test Verinata fossero applicati su larga scala, molte altre donne si troverebbero ad affrontare la stessa scelta.

Dennis Lo ritiene che, con il progredire delle tecniche di sequenziamento del DNA, i produttori dei test farebbero bene a limitare le possibilità di diagnosi alla ventina di patologie ritenute più gravi. «Ritengo che questa sia una tecnologia da utilizzare nel modo più etico possibile, trattenendoci dall'analizzare aspetti che non comportano rischio di vita, come la predisposizione al diabete nei quarantenni».

L'ambiente medico sta ancora combattendo nel tentativo di formulare un insieme di regole per la gestione delle informazioni genetiche sugli adulti. Foster ritiene che i test prenatali renderebbero ancora più complicati gli obblighi giuridici ed etici cui la professione medica deve fare fronte. Da un lato, afferma, se un adulto può decidere se sottoporsi al sequenziamento del proprio genoma, un bambino non ancora nato non sarebbe in grado di consentire alle informazioni sui suoi geni. Ma quelle informazioni possono influire sulla sua vita intera vita di una persona.

Foster teme che in ogni caso finiremo per riporre troppe speranze nei nostri geni: «Penso che il rischio più grande sia quello di una sopravvalutazione delle scoperte in campo genetico. I medici crederanno che una variante associata al diabete equivalga a dire che diventerai per forza diabetico. O che la sua assenza sia una promessa che non lo diventerai».

Al momento, il laboratorio medico creato da Illumina per i test sul genoma accetta solamente richieste relative al DNA degli adulti, o dei bambini ammalati. La nuova controllata Verinata effettua sui cromosomi



Morris Foster si chiede se, conoscendo il loro DNA, tratteremo i nostri figli in modo diverso.

Fotografia: Shane Brown.

fetali unicamente una versione ottimizzata dei test diagnostici con cui i medici hanno già una certa familiarità. Ciononostante, considerando i ritmi di evoluzione delle tecnologie sul DNA prenatale, Flatley ritiene che siano necessarie nuove regole. In parte, una tale argomentazione serve la causa della tecnologia: troppa confusione a livello sociale rischierebbe infatti di rallentare le ricerche nel campo del sequenziamento genomico. I limiti della tecnologia del sequenziamento del DNA, e delle future prospettive di Illumina, «sono di natura sociologica». Gli unici vincoli sono «quando e in quali casi riteremo opportuno applicarla.» ■

Antonio Regalado è responsabile del servizio economico dell'edizione americana di MIT Technology Review.