

Catalogo dell'iniziativa

WHAT - WHAT'S HUMAN ABOUT TECHNOLOGY?

a cura di

Associazione EURESIS e Fondazione CEUR

Meeting per l'Amicizia fra i Popoli
Rimini, 19-25 agosto 2016



Fin dal suo primo apparire sulla faccia della Terra l'uomo ha manipolato l'ambiente naturale per migliorare le proprie condizioni di vita e per esplorare il mondo. Nel corso dei secoli la misteriosa corrispondenza tra le strutture del pensiero umano e la realtà fisica ha consentito di utilizzare le leggi della natura fino a livelli impensabili. Proprio perché la dimensione tecnologica è innata nel nostro rapporto con la realtà, possiamo guardare alla tecnologia per capire meglio noi stessi.

E' inevitabile la domanda: a quale immagine di sé l'uomo tende nel suo incessante intervento sulla natura? Quale speranza, ultimamente, lo muove?

Appare evidente che alcune tecnologie sono «buone», in quanto migliorano la qualità della nostra esistenza, come ad esempio quelle che riducono la fatica e il dolore fisico, favoriscono la salute, diminuiscono i tempi e gli sforzi del lavoro, aumentano la conoscenza e la possibilità di esprimersi, riducono gli sprechi e l'impatto dell'attività umana sull'ambiente.

Dire che tutto ciò è «buono» esprime un'idea di benessere e di positività della vita che appare condivisa e comune a tutti gli uomini. Ma possiamo identificare questa positività con l'ultimo desiderio dell'uomo?

Oggi abbiamo raggiunto traguardi che solo cent'anni fa sembravano i sogni di un visionario. Ciò ha aumentato l'irresistibile attrattiva del progresso, ma ha anche reso più evidente la strutturale insufficienza insita in molti di quei sogni.

Volevamo poter comunicare con chiunque, in ogni momento, velocemente: Adesso possiamo. Ma possiamo dire che è aumentata in proporzione l'intensità dei rapporti umani e diminuito il senso di solitudine?

Volevamo poter viaggiare facilmente in luoghi esotici e conoscere tutto il mondo. Adesso possiamo. Ma con questo è aumentata anche la nostra capacità di godere di un viaggio o di commuoverci davanti alla bellezza di un panorama?

Ogni notizia viene trasmessa in tempo reale: ma ci ritroviamo per questo più interessati e più partecipi di quello che succede nel mondo?

Oggi molte malattie sono state sconfitte e il dolore è diminuito, ma la morte è ancora più insormontabile; e oggi siamo più capaci di vivere il dolore che inevitabilmente resta?

Se l'unico senso della corsa ai beni meravigliosi che la tecnologia ci offre fossero quegli stessi beni, potremmo forse rischiare di perderci qualcosa?

Quale sguardo occorre per valorizzare i frutti della conoscenza dell'universo senza perdere noi stessi?

Da dove partire per giudicare? Ci può essere un futuro di bene che non abbia le sue radici nell'esperienza di un bene presente?

I contributi qui di seguito riportati accompagnano l'iniziativa "WHAT - What's Human About Technology?", proposta al Meeting per l'Amicizia fra i Popoli di Rimini (19 - 25 agosto 2016) a cura dell'Associazione Euresis e dalla Fondazione Ceur e sviluppata attorno a questi temi e a questi interrogativi.



Fondazione CEUR



INDICE

Mario Gargantini: "WHAT'S HUMAN ABOUT TECHNOLOGY?"	<i>pagina 3</i>
Tommaso Bellini: "GUARDANDOSI ALLO SPECCHIO DELLA TECNOLOGIA"	<i>pagina 5</i>
Paolo Cappelletti: "MICRO E NANOELETRONICA: STORIA E PROSPETTIVE"	<i>pagina 9</i>
Guglielmo Lanzani: "NUOVI MATERIALI, NUOVI PARADIGMI"	<i>pagina 16</i>
Mario Mezzanzanica: "A PROPOSITO DI <i>BIG DATA</i> "	<i>pagina 21</i>
Francesca Negrello, Mario Camurri: "LA <i>ROBOTICA</i> , UN BENE PER L'UOMO?"	<i>pagina 29</i>
Carlo Soave: "LE MANI SULLA TRAMA DELLA VITA CON IL <i>GENOME EDITING</i> ?"	<i>pagina 36</i>
Davide Rondoni: "CON LA VOCE DELLA POESIA"	<i>pagina 42</i>
"WHAT?" è stato realizzato grazie a ...	<i>pagina 43</i>

WHAT'S HUMAN ABOUT TECHNOLOGY

di Mario Gargantini*

* Direttore della rivista
Emmeciquadro

Nei dibattiti della seconda metà del secolo scorso ricorreva frequentemente l'invito a sviluppare una tecnologia «a misura d'uomo»; era una reazione all'imponente crescita della produzione di massa, immortalata nell'immaginario collettivo dalle sequenze del film *Tempi moderni* con un acrobatico Charlie Chaplin perso tra gli ingranaggi di una assurda catena di montaggio.

Ed era una reazione all'impetuoso sviluppo tecnologico che riempiva la società (occidentale) di macchine di ogni tipo, pronte a esaudire ogni esigenza ma anche a stravolgere abitudini, ritmi, attività quotidiane.

Chi cercava di immaginare un diverso modo di concepire la tecnologia si è facilmente ritrovato in una visione come quella dell'economista Ernst Schumacher che, nel capitolo centrale del best seller *Piccolo è bello* (1973) intitolato *Una tecnologia dal volto umano*, delineava i tratti di un'attività tecnica lontana da ogni tentazione di onnipotenza e in grado di favorire una crescita armoniosa e aliena dagli squilibri, sempre più drammatici, tra singoli e tra popoli.

Il titolo di quel capitolo è presto diventato uno slogan; l'espressione rappresentava una strana sintesi di ottimismo e scetticismo: c'era l'ottimismo di chi vedeva nella tecnologia uno strumento in grado di migliorarsi per rispondere sempre meglio ai bisogni delle persone, ma c'era il sottofondo di scetticismo di chi non riteneva possibile che lo sviluppo tecnologico assumesse un aspetto «amico», che potesse realmente costituire un bene per l'uomo.

La visione di Schumacher si è tradotta nel modello delle «tecnologie intermedie», presto ribattezzato con la più calzante formula «tecnologie appropriate»: secondo Schumacher e i teorici che hanno sviluppato le sue idee, una tecnologia si considera «appropriata» quando è compatibile con i bisogni propri della natura umana, con le condizioni culturali, naturali ed economiche locali e utilizza risorse umane, materiali ed energetiche disponibili sul posto, con strumenti e processi controllabili e gestibili dalla popolazione locale.

Ben presto il movimento delle «tecnologie appropriate» è andato a confluire nel vasto fiume dell'ambientalismo e negli ultimi decenni del secolo scorso il dibattito si è decisamente concentrato sulle tematiche ambientali ed ecologiche: tutte le preoccupazioni per l'impiego sconsiderato delle tecnologie si sono indirizzate verso l'analisi e la denuncia degli impatti ambientali negativi di impianti, macchine e infrastrutture di ogni tipo. In molti casi non senza valide ragioni; in altri casi con evidenti esagerazioni, valutazioni unilaterali e forzature ideologiche. Spesso «dimenticando» che l'ambiente comprende anche le persone, si è diffusa una mentalità che vede in ogni nuovo oggetto tecnico una potenziale minaccia per l'integrità della natura e si è insinuata una contrapposizione tra l'uomo inquinatore, a causa della sua tecnologia, e un irrealistico ambiente naturale incontaminato.

Da qualche tempo comunque la tecnologia è tornata al centro del dibattito pubblico.



Ciò è avvenuto sulla spinta e in conseguenza dello sviluppo imperioso delle tecnologie della comunicazione, dell'automazione e del *biotech*.

Il dibattito ha ripreso tutti i temi tipici affrontati fin dall'inizio della rivoluzione industriale settecentesca, ma ha assunto una portata particolare data i caratteri di novità dello scenario tecnologico attuale.

Novità connesse agli oggetti dell'intervento trasformatore che da un lato continuano ad essere la materia e l'energia, anche se vengono manipolate a scale e in forme prima impensabili; dall'altro vanno a toccare tutta la sfera dell'informazione e le strutture della stessa vita. Ma novità soprattutto dipendenti dalla modalità di sviluppo delle suddette tecnologie, caratterizzate dalla rapidità di crescita e dalla pervasività: i nuovi prodotti e le nuove soluzioni informatiche, cibernetiche e biotecnologiche si diffondono velocemente e in breve arrivano a toccare tutti, a incidere sulla vita di tutti, sul modo di lavorare, di comunicare, di pensare.

L'aspetto più sorprendente e fonte di preoccupazioni è la riduzione estrema dei tempi che intercorrono tra una nuova idea, la sua implementazione in un prodotto o sistema tecnologico e la sua diffusione massiccia. È uno sviluppo «in tempo reale» che annulla i tempi delle aspettative, riduce i periodi di adattamento e di assimilazione e ci pone tutti nella situazione di rincorrere le nuove opportunità che le tecnologie indubbiamente aprono: siamo sempre in ritardo, siamo sempre sprovvisti, dobbiamo sempre aggiornarci, scaricare l'ultima *release*...

Soprattutto si riduce il tempo per riflettere su tutti i risvolti dei nuovi scenari che si delineano, sulle implicazioni della diffusione di massa delle nuove tecnologie: dai grandi interrogativi etici, che in parte vengono riformulati in parte assumono aspetti inediti (basti pensare alla questione della attribuzione delle responsabilità delle azioni compiute da un robot...); a quelli educativi, ancora troppo sottovalutati; a quelli sociali, derivanti dai cambiamenti di abitudini e di comportamenti che assumiamo quasi senza rendercene conto. Ci accorgiamo che accanto agli interrogativi di sempre, nascono domande che non immaginavamo, dalle quali dobbiamo lasciarci sfidare e per le quali non possiamo accontentarci di risposte sbrigative e tranquillizzanti.

È una situazione ben sintetizzata nell'iniziativa *WHAT. What's Human About Technology?* proposta al *Meeting per l'Amicizia tra I Popoli 2016* dall'*Associazione Euresis* e dalla *Fondazione CEUR*.

La domanda espressa nel titolo può essere letta almeno in due modi, entrambi significativi e utili per aprire spazi di riflessione e approfondimento.

Un modo è quello che si interroga sull'umano nella tecnologia cercando di capire in che senso la tecnologia è «per l'uomo», come risponde ai bisogni, che tipo di problemi umani affronta e come offre soluzioni (insieme a ulteriori problemi...). Per affrontare questi temi, oltre alla conoscenza non superficiale delle tecnologie attuali, può essere illuminante la storia della tecnologia, la descrizione di tanti frutti dell'ingegno e dell'operosità umana, il racconto dei conseguenti miglioramenti delle condizioni di vita, l'analisi dei vantaggi come pure degli innegabili impatti negativi e indesiderati.

L'altra modalità è quella che vuole sorprendere le tecnologie, soprattutto quelle attuali e più «avanzate», per come esprimono o meno l'umano, per quello che ci dicono «dell'uomo», per cosa ci rivelano di noi stessi, di cosa desideriamo, di come viviamo le relazioni con le cose e con le persone. Come ha efficacemente espresso Benedetto XVI nell'Enciclica *Caritas in Veritate* (n. 69): «La tecnica (...) risponde alla stessa vocazione del lavoro umano: nella tecnica, vista come opera del proprio genio, l'uomo riconosce se stesso e realizza la propria umanità. La tecnica è l'aspetto oggettivo dell'agire umano, la cui origine e ragion d'essere sta nell'elemento soggettivo: l'uomo che opera. Per questo la tecnica non è mai solo tecnica. Essa manifesta l'uomo e le sue aspirazioni allo sviluppo, esprime la tensione dell'animo umano al graduale superamento di certi condizionamenti materiali».

I contributi presentati in questo *Speciale*, coordinato dal Professor Elio Sindoni, Presidente della *Fondazione CEUR*, accompagnano l'iniziativa *WHAT?* attraverso la voce di alcuni dei curatori dello spazio espositivo e dei protagonisti dei momenti di parola. Gli autori affrontano alcuni ambiti emblematici degli sviluppi dell'innovazione tecnologica odierna - in particolare la robotica, la realtà virtuale, le biotecnologie e la nano-microelettronica - e mostrano l'attualità, la pertinenza e la drammaticità di tante domande sollevate da tali sviluppi.

Mario Gargantini
(Direttore della rivista *Emmeciquadro*)

GUARDANDOSI ALLO SPECCHIO DELLA TECNOLOGIA

di Tommaso Bellini*

* Professore Ordinario
di Fisica Applicata
all'Università degli Studi
di Milano

L'essere umano, in virtù di una «magica» corrispondenza tra le strutture del suo pensiero e la realtà che lo circonda, appare essere intrinsecamente e costitutivamente tecnologico.

È facile notare quanto le tecnologie ci diventano rapidamente trasparenti, non ci accorgiamo neanche più di farne uso. Quando iniziamo le nostre giornate, accendiamo la luce, ci vestiamo, ci laviamo, usiamo gli utensili e il fuoco. Tutto ciò ci appare come assolutamente naturale. Sarebbe anzi innaturale non averle a disposizione.

Allo stesso modo le nuove tecnologie, passato il breve tempo dello stupore, ci diventano facilmente connaturate. Proprio come un vestito, la tecnologia porta la nostra impronta. Essendo essa una componente intrinseca del modo con cui l'uomo pensa alla vita, possiamo guardare alla tecnologia per capire meglio noi stessi.

È infatti interessante chiedersi: *a quale tipo di vita l'uomo tende nel suo impiego della tecnologia?*

La naturalità della tecnologia deve per forza tradurre la «naturalità» di un certo concetto di vita. Quale?

Un decalogo della tecnologia buona

È facile trovare innumerevoli esempi di come alcune tecnologie sono considerate indubitabilmente positive. È possibile fare un elenco delle caratteristiche di base che le rendono tali, una specie di *decalogo* della tecnologia buona.

Ogni trovato tecnologico è considerato universalmente buono se:

- riduce la fatica fisica;
- riduce il dolore;
- allunga la vita;
- riduce i tempi di realizzazione delle attività;
- riduce lo sforzo mentale;
- aumenta le conoscenze;
- produce momenti di interesse e piacere;
- abilita/facilita l'esprimersi;
- permette nuove forme di comunicazione;
- economicizza (conserva la natura, diminuisce gli sprechi, aumenta il benessere).

È impressionante constatare quanto questo decalogo sia universale, indipendente



da cultura, censo, età. Di fronte a questo elenco i più provano un senso di ovvietà, qualcuno di sottile inquietudine.

Insita in questo elenco c'è una distinzione tra «vita buona» e «vita da evitare», tra vita auspicabile e vita senza attrattiva, tra vita che vale e vita che non vale.

Anche senza ricadere in esempi estremi legati alla vita e alla morte, è chiaro che tutti vogliamo evitare il mal di denti, le lunghe attese, gli sforzi non coronati da successo. Certo, tutti sappiamo che anche situazioni di insuccesso o di dolore possono portare del valore. Questa consapevolezza non toglie però l'assoluta preferenza per le situazioni del decalogo.

Il decalogo fotografa uno stato di benessere, fatto di situazioni buone e desiderabili. In questo modo il decalogo esprime una tensione alla felicità.

Il decalogo esprime la nostra idea di felicità?

Chiaramente non si sta parlando della nozione teorica o narrativa della felicità, ma di una idea istintiva e universale di felicità.

Verrà da dire: la felicità è tutt'altra cosa da quanto chiediamo alla tecnologia, che è solo un mezzo. Verrà anche da dire che il decalogo identifica forme parziali di felicità e che l'uomo vuole il benessere che la tecnologia offre per scopi che non compaiono in questo decalogo.

Nonostante questo sia attualmente vero, la crescita tecnologica pone delle domande difficilmente evitabili: se le capacità tecnologiche aumentassero ancora, come viene immaginato in alcuni film o romanzi di fantascienza, questo distinguo tra forme parziali di felicità e scopi veri rimarrebbe intatto?

Se ci fosse un *chatterbot* così intuitivo e sensuale da far compagnia o addirittura da fare innamorare (come nel film *Her*), oppure se ci fosse un farmaco che ci toglie la paura della morte (come nel romanzo *White Noise* di DeLillo) o che ci rende intelligenti, contenti e ottimisti (come nel film *Limitless*), potremmo ancora dire che la felicità è altrove e che il decalogo riguarda solo dei mezzi per ottenerla?

Se potessimo con un farmaco aumentare o indurre l'emozione dell'innamoramento o dello stimare e sentirsi stimati, che differenza ci sarebbe tra l'esperienza «vera» e quella procurata? Come useremmo questo farmaco?

Ci procureremmo queste emozioni come mezzi per «altri fini»?

E come potremmo identificare questi altri fini avendo reso riproducibili e quindi fondamentalmente arbitrarie le emozioni?

Esperienze artificiali

La tecnologia, rimuovendo progressivamente i vincoli alle nostre possibilità, o anche solo dando la prospettiva di una loro rimozione, interroga sulla natura ultima della felicità: la felicità consiste in stati descrivibili?

Gli stati descrivibili, siano essi fatti da condizioni fisiche, capacità, percezioni, emozioni o ragionamenti, possono essere in qualche modo provocati.

Il benessere, la disponibilità di mezzi, la combinazione delle tecnologie consentono nuove esperienze.

Ci sono scienziati che passano la gran parte del loro tempo a osservare cose inaccessibili all'occhio nudo. Ci sono tecnici che spendono il loro tempo analizzando le immagini che vengono da satelliti, dove nessun uomo potrebbe arrivare. Ci sono creativi che vivono la gran parte della loro giornata all'interno di spazi e in trame di fenomeni inventati dall'immaginazione umana. Se ci trasportiamo sul pinnacolo di un'alta torre in un grande deserto mediante visori 360° 3D, avendo riprodotto la qualità dell'aria, il vento, la temperatura, i rumori, creiamo delle emozioni, anche profonde.

Il fatto che queste esperienze siano *artificiali* in quanto essenzialmente dipendenti dalla tecnologia, le rende di poca importanza, poco significative?

Il replicante Roy Batte di *Blade Runner* (1982) non la pensava così nel suo famoso monologo: «Ho visto cose che voi umani non potreste immaginarvi: navi da combattimento in fiamme al largo dei bastioni di Orione, e ho visto i raggi C balenare nel buio vicino alle porte di Tannhäuser».

È possibile che esperienze fuori dalla portata conoscitiva naturale, o addirittura immaginarie, e accessibili solo in modo virtuale possano essere profondamente significative per la nostra vita?

Al contempo, l'aver raggiunto così tanti obiettivi che un secolo fa sembravano sogni di un visionario, ha aumentato l'irresistibile attrattiva e la forza del progresso tecnologico, ma ha anche messo in evidenza la strutturale insufficienza insita in molti di quei sogni.

Volevamo poter viaggiare ovunque e conoscere tutto il mondo. Adesso possiamo. Pianifichiamo vacanze e viaggi per visitare luoghi di grande bellezza e interesse che un tempo sarebbero stati impensabili. In passato la scoperta geografica era uno scopo di vita, ora è intrattenimento.

Volevamo poter comunicare e conoscere ogni cultura e ogni uomo. Adesso possiamo. Possiamo comunicare quasi con chiunque. Le persone importanti, così come ogni guru, re o santo, sono alla nostra portata. Ogni notizia viene scrutinata. Ogni linguaggio è tradotto. Di ogni persona o cultura anche enormemente distante conosciamo fin da subito caratteristiche e limiti. Volevamo poter guarire dalle malattie. Ora moltissime malattie un tempo mortali sono guaribili e molti dolori alleviabili. La vita si è allungata e il dolore è diminuito, ma la morte è diventata ancor più insormontabile.

Lo sviluppo della scienza e della tecnologia ha modificato *la forma del desiderio* degli uomini?

Quanto la tecnologia ha reso l'uomo antico e l'uomo contemporaneo diversi nel loro assetto fondamentale di desiderio, soddisfazione, ricerca della realizzazione di sé?

Infine, è palese quanto lo sviluppo tecnologico abbia creato capacità e abitudini di cui è molto difficile fare a meno. Le comunicazioni, i farmaci, la grande distribuzione, per fare alcuni pochi esempi evidenti, creano condizioni da cui all'uomo è praticamente e psicologicamente impossibile allontanarsi.

Essere dipendenti della tecnologia, fosse anche dall'uso del frigorifero, ci toglie qualcosa di fondamentale? La tecnologia ci ha emancipato da innumerevoli vincoli, fatiche e limitazioni.

Si tratta di una situazione che aumenta o diminuisce la nostra capacità di riconoscere ciò che c'è di più importante nella vita?

Tommaso Bellini

(Professore di Fisica Applicata all'Università degli Studi di Milano)



MICRO E NANOELETRONICA: STORIA E PROSPETTIVE

di Paolo Cappelletti*

* Lavora presso STMicroelectronics in Ricerca e Sviluppo come massimo esperto di Memorie Non Volatili

La tecnologia ha assunto negli ultimi decenni un ruolo sempre più rilevante e pervasivo; l'elettronica e le telecomunicazioni hanno modificato profondamente il nostro modo di lavorare, di divertirci, di comunicare. Abbiamo assistito a una impressionante sequenza di innovazioni tecnologiche in tutti settori produttivi: nei servizi, nei trasporti, nella sanità e non si vede alcun segnale di saturazione; semmai, il ritmo dell'innovazione sembra aumentare.

Tuttavia non è un fatto nuovo che l'avvento di una tecnologia possa avere un impatto rivoluzionario sull'economia e sulla vita sociale e individuale delle persone. La storia dell'umanità è costellata di innovazioni tecnologiche che hanno determinato cambiamenti epocali: senza risalire all'aratro e alla ruota, basti pensare alla stampa, alla macchina a vapore, all'elettricità, al telegrafo, al telefono, all'automobile e all'aeroplano, per limitarci a pochi esempi.

Ciò che caratterizza i nostri tempi non è tanto l'innovazione in sé, quanto l'*accelerazione* del ritmo dell'innovazione. Nei secoli scorsi, i grandi cambiamenti potevano essere assorbiti attraverso il ricambio generazionale; oggi, l'accelerazione fa sì che diverse innovazioni di portata analoga ai cambiamenti epocali del passato avvengano più volte nel corso della vita di una persona. Mentre la frequenza dei cambiamenti è andata progressivamente aumentando, i tempi di sviluppo e di apprendimento delle persone sono rimasti sostanzialmente invariati.

Oggi, la durata del ciclo di formazione di un ingegnere, dalla scuola primaria all'università, è di gran lunga superiore al tempo di sviluppo di un prodotto rivoluzionario. Questo progressivo scostamento dei ritmi di innovazione tecnologica rispetto ai ritmi propri dell'essere umano crea evidenti scompensi sia nella vita personale di ciascun individuo (difficoltà a stare al passo con i tempi), sia nei rapporti tra generazioni (*digital natives*).

C'è una tecnologia che più delle altre ha spinto questa accelerazione; è una tecnologia abilitante e pervasiva che per oltre cinquant'anni è progredita a ritmo esponenziale (nessun'altra tecnologia ha avuto una simile evoluzione): si tratta della micro-nanoelettronica.

In questo breve contributo sarà messa in luce l'importanza della microelettronica, sarà riassunta l'evoluzione tecnologica dalla micro alla nanoelettronica e saranno illustrate le attuali tendenze di sviluppo.



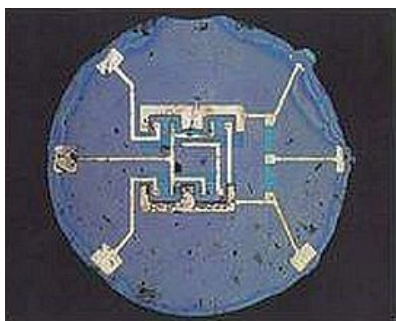
L'importanza della microelettronica

È opinione diffusa che il transistor sia stata l'invenzione più importante del XX secolo. La prima immagine mostra il dispositivo che Bardeen e Brattain svilupparono nel 1947, nei Bell Labs; per questa scoperta ricevettero nel 1956 il premio Nobel per la fisica, in associazione con Shockley, che nel 1949 realizzò il primo transistor a giunzione, il prototipo dei transistori a stato solido.

In realtà, il transistor in sé non avrebbe determinato i rivoluzionari sviluppi dell'elettronica, dell'informatica e delle telecomunicazioni cui abbiamo assistito negli ultimi sessant'anni. Con i transistori si sono realizzate le prime radioline e anche qualche elementare computer; se però fossimo rimasti fermi ai dispositivi a stato solido discreti, i singoli transistori, non sarebbe successo quasi nulla di quello che poi è successo.

A determinare lo sviluppo dell'elettronica moderna è stata soprattutto l'invenzione del circuito integrato; è stata cioè la possibilità di realizzare più transistori, più componenti attivi, sulla stessa basetta di materiale semiconduttore, tipicamente silicio.

A destra è riportato il primo circuito integrato su germanio realizzato nel 1958 da Jack Kilby nei laboratori della *Texas Instruments*; per questo dispositivo, nel 2000, è stato assegnato a Kilby il premio Nobel per la fisica.



A sinistra vediamo il primo circuito integrato a 7 transistori, realizzato in tecnologia planare su silicio: è il prototipo della tecnologia che si è poi affermata e ha permesso lo sviluppo dei circuiti integrati. Robert Noyce nel 1961 ha sviluppato questa tecnologia in *Fairchild Semiconductor* ed è stato poi uno dei fondatori di Intel. Dalla *Fairchild* e da questo prototipo è partita la storia dei circuiti integrati e della microelettronica.

Cos'è quindi un circuito integrato?

È un completo sistema o sottosistema elettronico, realizzato con un unico processo di fabbricazione, su uno stesso substrato.

A destra è riportato un circuito integrato realizzato nella fine degli anni '90 in tecnologia CMOS da 0,25mm (*STMicroelectronics*) che, meglio dei processori odierni, permette di identificare chiaramente regioni del chip con aspetto differente.

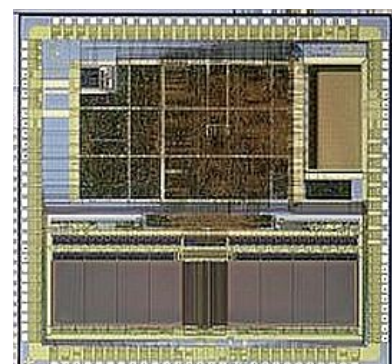
Le regioni più ordinate sono aree di memoria, dove vengono immagazzinati i dati, mentre la regione che assomiglia alla mappa di una città americana, con strade che si incrociano a angolo retto, contiene la logica.

Si tratta di un microcontrollore, un circuito integrato che da solo può svolgere funzioni logiche e di calcolo e che ha a bordo memorie non-volatili per gestire i programmi applicativi; può essere l'unità di controllo di un intero apparecchio (es.: un elettrodomestico o un utensile a controllo numerico) o di una sua parte (es.: l'ABS di un'automobile). Il caso estremo è rappresentato dalle smart card, nelle quali l'intero sistema è costituito da un singolo chip.

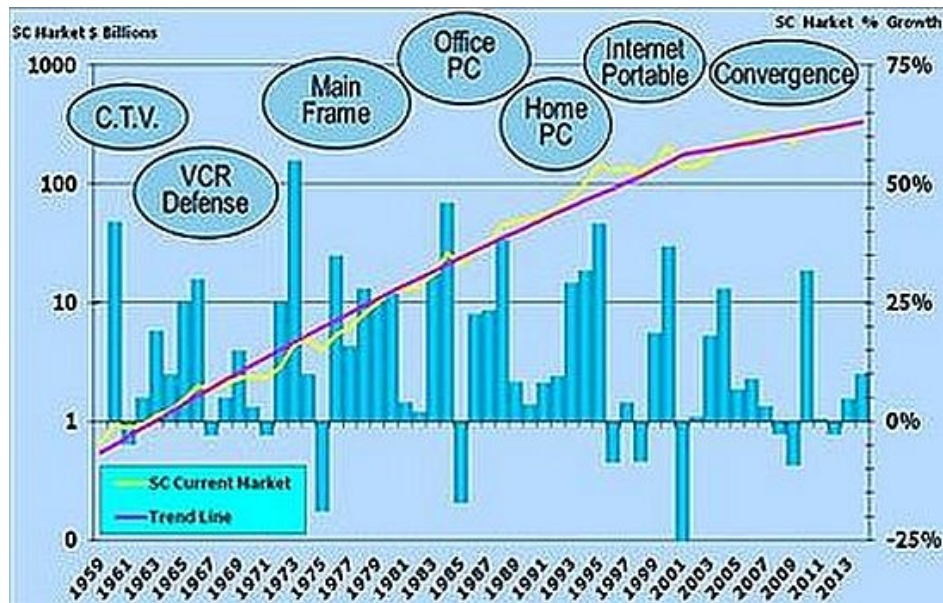
Come anticipato nell'introduzione, la microelettronica è una tecnologia abilitante e pervasiva: è abilitante perché ha reso e rende possibili nuove applicazioni altrimenti inconcepibili (ad esempio: PC, cellulari, laptop, smartphone, tablet, robotica, elettronica nell'automobile, domotica, video games,...); è pervasiva perché investe tutti i settori industriali e la quasi totalità delle applicazioni.



Il transistor a contatto (a baffo di gatto) realizzato nel 1947 da Bardeen e Brattain (Bell Labs)



Questi due attributi, determinanti per capire l'importanza della microelettronica, spiegano l'evoluzione dell'industria dei semiconduttori, il cui fatturato mondiale in funzione degli anni è riportato nell'immagine che segue.



Fatturato mondiale dei semiconduttori; aumento di 4 ordini di grandezza in 55 anni; crescita annua media di circa il 12%

Se si trascurano le oscillazioni legate alla variabilità ciclica tipica di un mercato di componenti, il fatturato della microelettronica è cresciuto a un ritmo costante del 15% annuo per quarant'anni; a partire dal 2001 il tasso di crescita si è ridotto, non solo per effetto del rallentamento dall'economia globale, ma soprattutto perché il fatturato dei semiconduttori non poteva continuare a crescere indefinitamente a un ritmo superiore al mercato globale dell'elettronica, di cui rappresenta una parte.

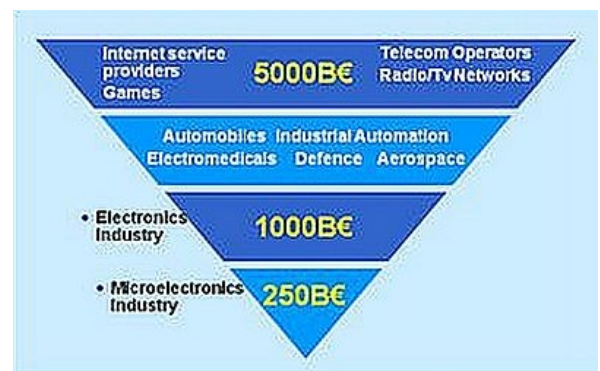
La crescita del mercato della microelettronica è stata sostenuta dalla continua successione di diverse innovazioni radicali a valle (*killer applications*) rese possibili dall'evoluzione della microelettronica stessa. Lo sviluppo iniziale è stato alimentato dalle commesse per la difesa, poi c'è stato il periodo dei grandi calcolatori per gli enti pubblici e le grandi società, quindi sono arrivati il computer da ufficio e i personal computer, poi tutti gli strumenti portatili, dal telefono, alle fotocamere digitali, all'MP3 player e ai digital organizer.

Ora siamo nella fase della convergenza, perché l'evoluzione della tecnologia ha permesso che tutte queste funzioni digitali e multimediali, inizialmente fornite da singoli dispositivi specializzati, possano oggi essere implementate in uno stesso apparecchio: uno *smartphone* o un *tablet* supporta tutte queste funzioni.

Ciascuna delle *killer application* ha avuto il suo tipico ciclo di sviluppo sigmoideo (e spesso ha visto un declino) ma la microelettronica ha continuato a crescere perché ha sostenuto tutti i successivi cicli di mercato delle varie applicazioni (ad esempio, la successione *mainframe computer-server-PC-laptop-tablet*).

Se il mercato annuo dei semiconduttori ha raggiunto dimensioni dell'ordine dei 250 miliardi di euro, tutta l'industria elettronica, alimentata dalla microelettronica, vale quattro volte tanto, quindi un migliaio di miliardi di euro.

Se consideriamo anche il mercato dei prodotti finali, come l'automobile, gli elettrodomestici, i sistemi elettromedicali, l'automazione industriale e tutta l'area dei servizi legati alla rete e alle telecomunicazioni, possiamo dire che il valore economico complessivo di tutto ciò che dipende dalla microelettronica è di circa 5000 miliardi di euro.



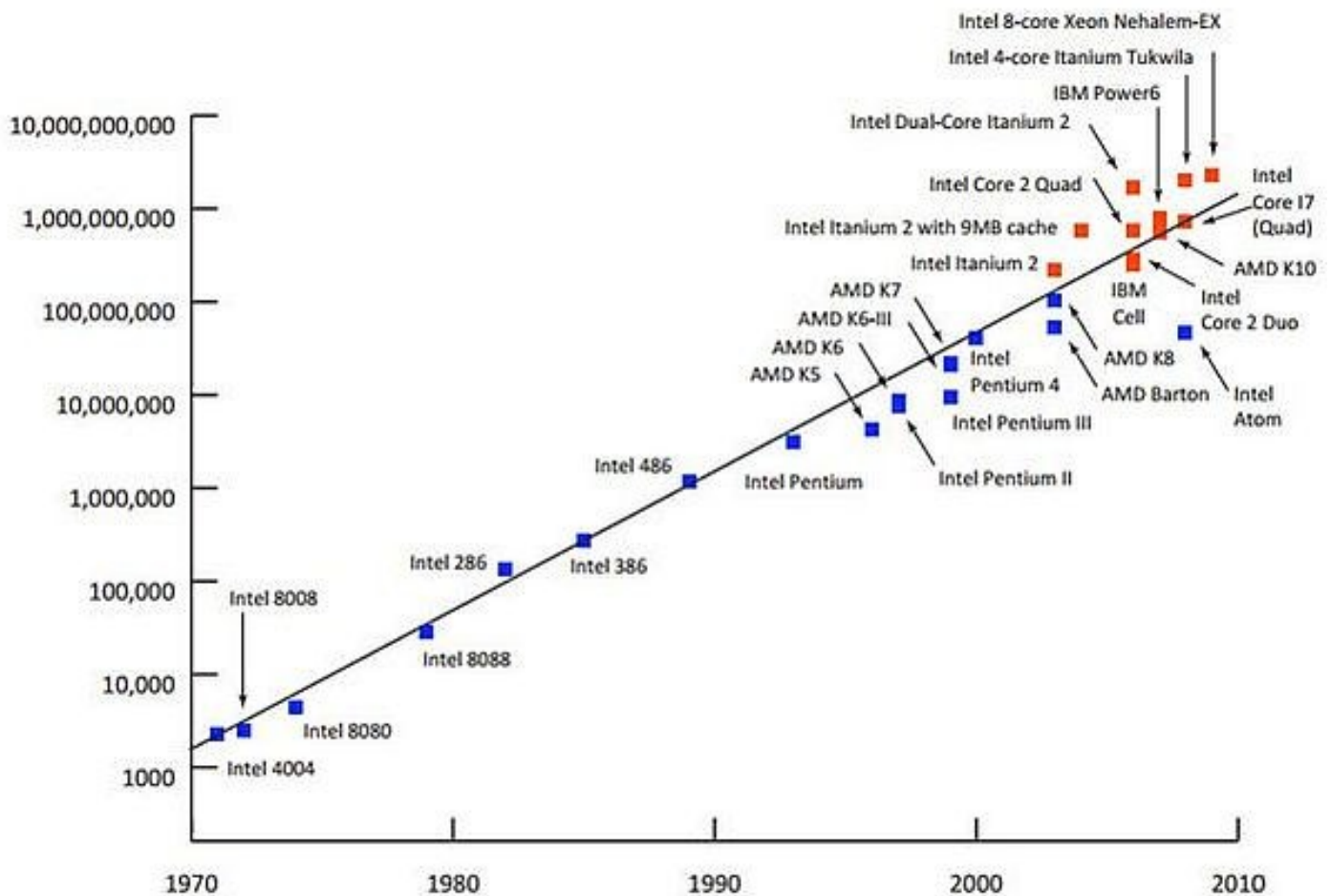
Impatto economico globale

L'evoluzione dalla micro alla nanoelettronica

L'altra caratteristica peculiare della microelettronica, anticipata nell'introduzione, è il progresso tecnologico a ritmo esponenziale mantenuto per oltre cinquant'anni; un'evoluzione, si diceva, senza paragoni nell'ambito delle tecnologie industriali.

Fin dall'inizio, lo sviluppo tecnologico dei circuiti integrati ha mirato a ridurre le dimensioni dei componenti elementari, in modo da poterne integrare sempre di più su un singolo chip e realizzare così sistemi sempre più complessi e potenti.

Il grafico che segue riporta, per diverse famiglie di processori, il numero di transistori integrati nel chip in funzione dell'anno di fabbricazione: la scala delle ordinate è logaritmica e il fatto che i dati tendano a disporsi lungo una linea retta significa che, per 40 anni, la crescita del numero di transistor per chip è stata esponenziale.



Evoluzione negli anni del numero di transistor contenuti nei processori

La legge di crescita, il raddoppio ogni anno del numero dei componenti, era stata prevista a metà degli anni Sessanta, da Gordon Moore, co-fondatore di *Intel*, e viene spesso citata come la «legge di Moore».

In realtà non è una legge; è la previsione, sulla base dei pochi dati disponibili a quel tempo, di una tendenza che, a meno di una correzione sulla velocità di crescita, si è poi confermata per oltre 40 anni, fino a giorni nostri.

Ma non sono stati solo la dimensione del singolo componente e, di conseguenza, il numero di transistor per chip a seguire in questi anni uno sviluppo esponenziale. La riduzione delle geometrie si è tradotta in pari misura nell'aumento della velocità di commutazione, quindi nell'aumento della frequenza, nella riduzione della potenza dissipata e nella riduzione del costo di ogni singolo componente elementare.

Tutti questi fattori sono stati egualmente determinanti per l'evoluzione delle applicazioni: non ci sarebbe l'elettronica portatile se non si fossero ridotti i consumi al punto

che le funzioni complesse che 30 anni fa potevano solo essere eseguite da calcolatori che occupavano una stanza e consumavano chilowatt di potenza, sono oggi svolte da un telefono cellulare, alimentato da una batteria.

Analogamente, mainframe con prestazioni inferiori a un odierno PC del costo di qualche centinaio di dollari, costavano decine di milioni di dollari ed erano accessibili solo alle grosse società. Sono tutti fattori necessari per rendere possibile la maggior parte delle applicazioni moderne dell'elettronica: lo *smartphone* non esisterebbe se non ci fossero i circuiti integrati!

La più alta densità di integrazione si ottiene con le memorie, perché le celle di memoria sono disposte in maniera ordinata in una organizzazione a matrice. Oggi, la memoria in commercio di maggiore capacità è il 128 gigabit di memoria flash (singolo chip). Quindi, tenendo conto che si tratta di memorie che immagazzinano due bit per cella, la densità della matrice in questo chip è di oltre 50 miliardi di transistori (celle) per cm². L'incremento di densità, come detto, è stato reso possibile dalla continua riduzione delle dimensioni dei componenti elementari.

Le successive generazioni tecnologiche dei processi di fabbricazione dei circuiti integrati sono identificate dalla dimensione delle geometrie minime che possono realizzare: nel 1970 le dimensioni erano dell'ordine dei dieci micron (μm , milionesimo di metro) e oggi sono dell'ordine dei dieci nanometri (nm , miliardesimo di metro), si sono cioè ridotte di tre ordini di grandezza in 40 anni.

Normalmente si identifica nei 100 nm la soglia per definire il perimetro delle nanotecnologie; la microelettronica ha superato questa soglia all'inizio dello scorso decennio e, attualmente, la nano-elettronica è di gran lunga la più importante delle nanotecnologie.

I processori più avanzati sono oggi prodotti in tecnologia da 14 nm e si introdurranno a breve processori in tecnologia da 10 nm; le memorie NAND più avanzate sono prodotte in tecnologia da 15nm. A livello prototipale, è già stata dimostrata la possibilità di realizzare transistori con dimensioni inferiori ai 10 nm; si prevede, quindi, che l'evoluzione continui ancora per qualche generazione.

La corsa alla miniaturizzazione estrema non è, però, l'unico filone di sviluppo della microelettronica. I sistemi elettronici devono interfacciarsi con il mondo reale e, per fare questo, hanno bisogno di sensori e di attuatori.

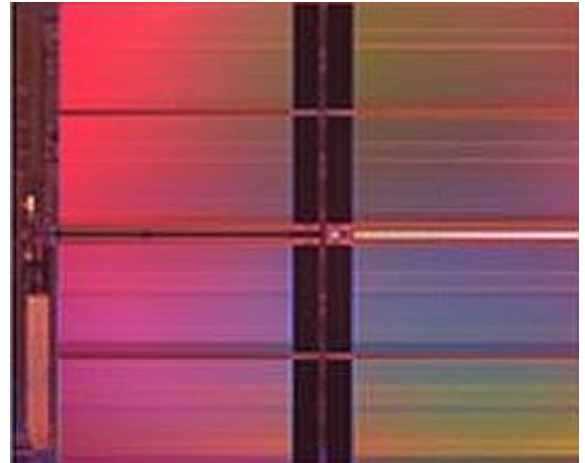
Schematicamente, un sistema elettronico è fatto da una parte centrale, il «cervello», che sovrintende alle funzioni di memoria ed elaborazione dati, e da una parte periferica che comprende tutte le interfacce con il mondo esterno.

Tradizionalmente, la microelettronica si occupava solo della parte centrale e la componentistica di altro tipo (elettromeccanica, tubi a vuoto, dispositivi discreti di potenza) si occupava delle interfacce verso il mondo reale; ormai la microelettronica, o quantomeno la sua infrastruttura tecnologica basata sul silicio, ha iniziato a presidiare pesantemente anche questa parte dei sistemi.

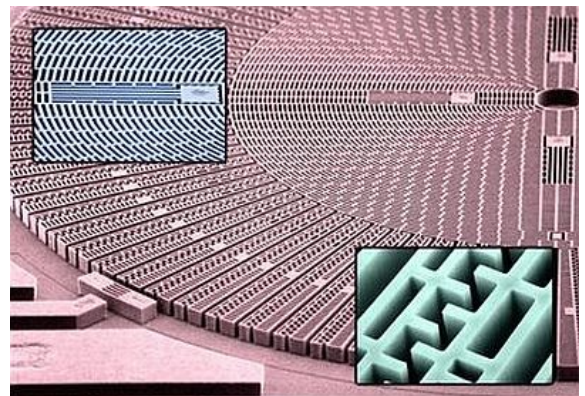
Da 20 anni nella microelettronica coesistono due filoni di sviluppo: uno continua a perseguire la miniaturizzazione e l'aumento di densità come sua forza trainante, ed è chiamato *more Moore*, l'altro, chiamato *more than Moore*, sfrutta le tecnologie microelettroniche per implementare funzioni diverse.

Una delle più importanti tecnologie del filone *more than Moore* è quella dei MEMS (sistemi micro-elettro-meccanici). Oltre alle note proprietà elettriche, il silicio ha anche ottime proprietà meccaniche; l'infrastruttura tecnologica della microelettronica consente di sfruttare queste proprietà per realizzare sistemi meccanici su scala micrometrica e permette anche di integrare o interfacciare direttamente questi micro-sistemi meccanici con l'elettronica di controllo.

Si possono realizzare oggetti come quello mostrato nell'immagine che segue, che è anche molto apprezzabile dal punto di vista estetico. È un esempio di sensore inerziale, in cui ci sono due parti interdigitate, una fissa e l'altra sospesa; in presenza di una accelerazione angolare, la distanza relativa tra le due parti si modifica a causa dell'inerzia della parte sospesa. La variazione della distanza tra le due parti può essere rilevata misurando la capacità elettrica della struttura. In questo modo si realizza un sensore di rotazione.



128Gbit MLC NAND (Micron)



Dettaglio di un sensore inerziale (STMicroelectronics)

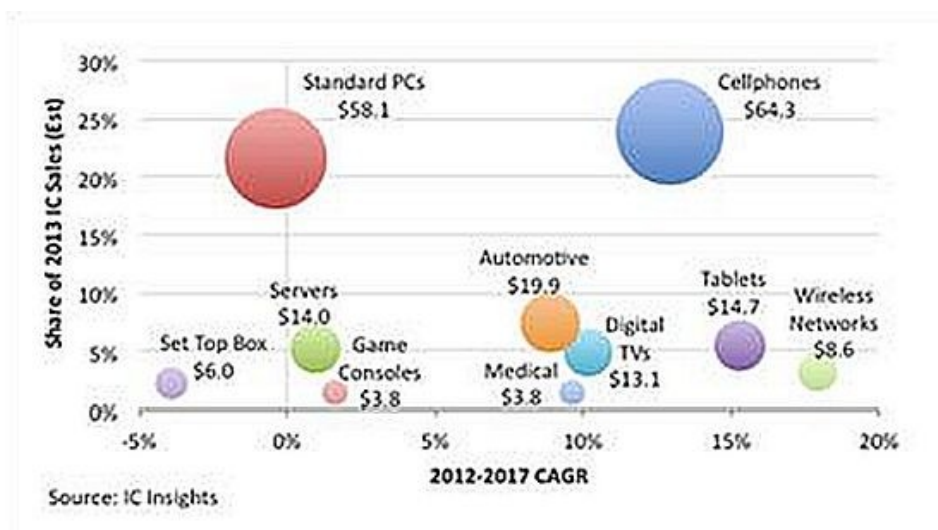
Oggi, tutti i telefoni cellulari e i *tablet* sono dotati di sensori inerziali che consentono di mantenere verticale l'immagine sullo schermo quando si ruota l'apparecchio. È grazie a sensori inerziali MEMS che le console dei videogiochi consentono all'utente di giocare simulando movimenti reali. Giroscopi micromeccanici permettono ai telefoni cellulari di non perdere la localizzazione quando si cammina all'interno degli edifici. Un'altra applicazione di successo delle tecnologie *more than Moore* è l'*imaging*.

Anche le macchine fotografiche di alta gamma sono ormai dotate di sensori digitali realizzati su silicio; i sensori delle fotocamere sono matrici di transistori e condensatori, coperti da strati di materiali dielettrici trasparenti, opportunamente lavorati, che fanno da filtri di colore e da lenti per ciascun *pixel*.

Attuali trend evolutivi

Nel paragrafo sull'importanza della microelettronica, abbiamo visto quali sono state le principali applicazioni che hanno sostenuto in passato la crescita del mercato della microelettronica fino alle dimensioni attualmente raggiunte.

Quali sono oggi le applicazioni che continuano a trainare lo sviluppo tecnologico e ad alimentare la crescita del mercato?



Dimensioni e crescita dei vari settori applicativi

Il grafico precedente riporta sulle ordinate la quota percentuale del mercato totale dei semiconduttori che compete a ciascun settore applicativo. L'asse delle ascisse mostra la crescita percentuale annua prevista nel quinquennio 2012-2017, mentre il raggio dei cerchi è proporzionale al valore del fatturato annuo, riportato anche in cifre, del singolo settore applicativo.

Nella parte superiore del grafico si posizionano le applicazioni dominanti, mentre a destra si trovano quelle che crescono più rapidamente; è evidente che le applicazioni più interessanti sono quelle che occupano la parte in alto a destra del grafico. I PC standard costituiscono ancora una delle applicazioni dominanti, ma sono praticamente arrivati a saturazione e non si prevede che il loro mercato possa ulteriormente crescere; i settori che stanno crescendo di più sono quelli legati alla mobilità (telefonia mobile, *tablet* e comunicazioni *wireless*).

In altri termini, applicazioni che crescono maggiormente e che continueranno a trainare lo sviluppo per i prossimi anni, sono gli strumenti portatili multimediali di comunicazione ed elaborazione dati. Prevale quindi la domanda di tecnologie d'uso personale che consentano a ciascuno di noi di essere sempre connesso, di operare in rete, di accedere ai propri dati, di lavorare, di leggere, di ascoltare musica, di comunicare e relazionarsi con chiunque.

Più specificamente, le applicazioni che supportano questa tendenza di sviluppo sono:

- tutti gli apparecchi mobili (i telefoni cellulari, gli *smartphone* e i *tablet*);
- le tecnologie legate alla rete;
- il *Cloud* (cioè la possibilità di poter accedere, attraverso la rete, a tutti i propri dati ovunque uno si trovi).

Un ulteriore settore in grande sviluppo, legato in senso più lato ai servizi alla persona, nell'ambito dell'elettronica per l'auto, è quello dei sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS).

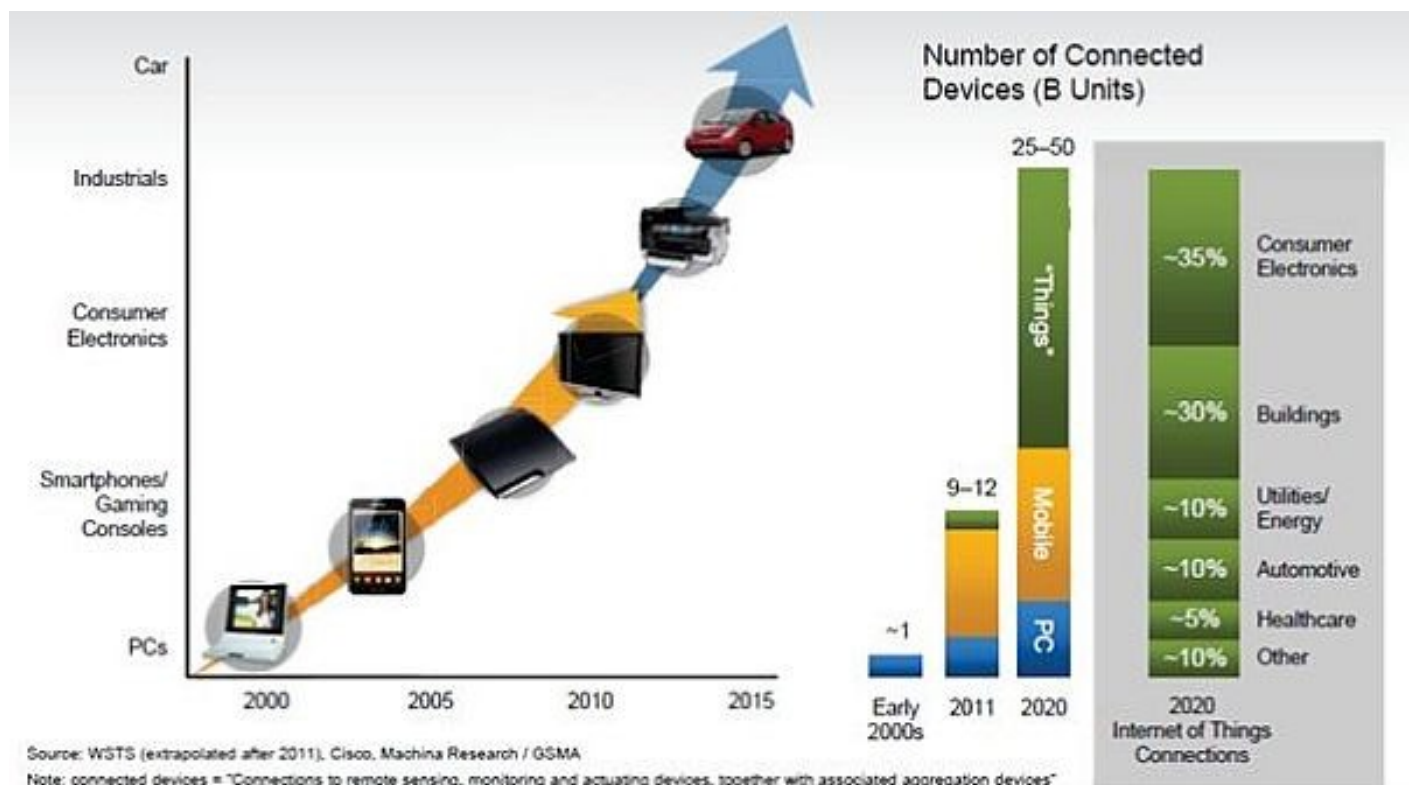
È tecnicamente già possibile realizzare auto che si muovano autonomamente su percorsi opportunamente attrezzati, ma l'obiettivo più concreto è rendere disponibili sull'intera gamma di autoveicoli sistemi che assistano l'autista per una guida più sicura in condizioni normali e intervengano in sostituzione del guidatore in casi eccezionali (colpo di sonno, malore, manovre imprevedibili di altri veicoli...).

Se le applicazioni trainanti viste finora sono centrate sui servizi alla persona, una delle principali rivoluzioni in atto riguarda le connessioni macchina-macchina. Lo sviluppo recente delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione è stato mirato a rendere più facile ed efficace la connessione attraverso la rete per individui e aziende, creando quindi l'*internet of people*.

Il fatto che adesso anche gli strumenti (l'automobile, gli elettrodomestici, le attrezzature industriali) siano connessi e immettano informazioni nella rete, apre la possibilità di comunicazione diretta tra macchina e macchina, non mediata da persone ma gestita da programmi: si sta creando l'*internet of things*.

Il grafico che segue mostra lo sviluppo delle connessioni alla rete. I primi terminali di connessione alla rete sono stati i PC, fisicamente collegati via cavo, poi sono arrivati tutti gli strumenti portatili, connessi attraverso la rete *wireless*, e ora sono entrati in gioco una varietà di *oggetti* come elettrodomestici, apparati legati alla gestione e la sicurezza degli edifici, le forniture di energia, gas e acqua, le automobili...

Si prevede che nel 2020 il numero degli oggetti connessi alla rete eccederà di un ordine di grandezza la popolazione mondiale.



La prossima rivoluzione tecnologica

Questa prospettiva impone ovviamente l'affronto attento dei problemi legati alla privacy e alla sicurezza: se in ogni momento e qualunque cosa facciamo, gli strumenti che stiamo utilizzando trasmettono dati in rete, occorre evitare che queste informazioni siano intercettate o usate in modo improprio o non autorizzato. Motivo per cui si sta lavorando intensamente sui protocolli di sicurezza per la connessione e per la trasmissione dati e sullo sviluppo di opportuni algoritmi e programmi applicativi.

La quantità di dati che *l'internet of things* riversa sulla rete si va ad aggiungere all'enorme quantità di dati già immessa quotidianamente in rete dai media, dai servizi commerciali, dalle attività di intrattenimento più o meno lecite e, soprattutto, dai social networks, principale fonte di intasamento della rete.

La gestione di una tale enormità di dati che cresce a ritmo esponenziale costituisce una delle più impegnative sfide che si stanno affrontando attualmente e che prende il nome di *big data*.

Come hanno detto due autorevoli personaggi: "*Big Data is not about the Data*" (Gary King) e "*The goal is to turn data into information, and information into insight*" (Carly Fiorina). In altre parole, i dati in se sono inutili se non si riescono a estrarre le informazioni che servono; e in tempo ragionevole, aggiungiamo noi.

La questione riguarda sia il caricamento, la conservazione e l'accessibilità dei dati, sia l'efficacia dei motori di ricerca delle informazioni; quindi, tanto lavoro di sviluppo *software* ma anche urgenti richieste di tecnologie *hardware* per la realizzazione di sistemi di archiviazione dati che concilino enorme capacità di memoria e rapidità di accesso ai dati.

Per l'industria dei computer e per la nanoelettronica il problema dei *big data* prende essenzialmente la forma dei *data center*, gli enormi edifici pieni di server che consumano 50-150 MW di potenza per immagazzinare e rendere prontamente disponibili, ai motori di ricerca, *exabyte* (10^{18}) di dati.

L'evoluzione tecnologica è mirata ad aumentare non solo la capacità ma soprattutto l'efficienza dei data center, in termini di flusso di dati per megawatt di potenza consumata.

Considerazioni finali

Abbiamo visto come la micro-nanoelettronica ha contribuito in modo determinante all'innovazione tecnologica in diversi settori applicativi negli ultimi cinquant'anni e quali sono le più importanti linee di sviluppo per i prossimi anni.

Gli impressionanti progressi della micro-nanoelettronica sono il risultato complessivo dell'impegno e della creatività di centinaia di migliaia di ricercatori sparsi nel mondo, nei centri di ricerca pubblici e nei laboratori industriali, e di milioni di lavoratori in tutte le aziende *hi-tech* della filiera. Un gigantesco sforzo collettivo di innovazione tecnologica che ha prodotto evidenti benefici per le persone e per la società, in tanti settori di primaria importanza, dall'informazione alla comunicazione, dai trasporti all'attività industriale, dalla sanità ai servizi.

L'accelerazione del ritmo di innovazione, resa possibile dai progressi della micro-nanoelettronica, ha anche creato degli scompensi. Come detto nell'introduzione, assistiamo a un progressivo scostamento tra il ritmo di innovazione e il ciclo di apprendimento dell'essere umano, tra la disponibilità di prodotti rivoluzionari invasivi e la maturazione dei giudizi di valore, delle norme d'impiego e della valutazione dell'impatto sulle persone.

D'altra parte, la riduzione dei costi di accesso a tecnologie abilitanti avanzate e l'intrinseca libertà e incontrollabilità della rete hanno *democratizzato* le dinamiche dell'innovazione tecnologica, in passato dominate esclusivamente dalle grandi corporation.

Sarebbe anacronistica e irrealizzabile l'ipotesi di contrastare gli effetti collaterali negativi dell'innovazione tecnologica cercando di controllarne la dinamica; anche la sola definizione di norme e leggi, indispensabili almeno per perseguire abusi di rilevanza giuridica, arriva necessariamente in ritardo rispetto alla diffusione della tecnologia che si vuole regolamentare.

Sempre più la finalizzazione di una nuova tecnologia al bene dell'uomo è affidata all'educazione e alla capacità di giudizio di chi la sviluppa e di chi la usa.

Paolo Cappelletti

(Laureato in Fisica all'Università degli Studi di Milano, lavora alla STMicroelectronics, in Ricerca e Sviluppo come massimo esperto di Memorie Non Volatili)

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

NUOVI MATERIALI, NUOVI PARADIGMI

di *Giuglielmo Lanzani**

* *Professore Ordinario presso il dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano. Coordinatore del "Center for Nano-Science and Technology" dell'Istituto Italiano di Tecnologia*

William Shakespeare fa dire a Prospero, nel dramma *La Tempesta*, che «Siamo fatti anche noi della materia di cui son fatti i sogni». È una frase immaginifica, che suggerisce in maniera poetica l'immanenza del desiderio e della visione che portano alla realizzazione pratica.

È anche uno spunto poetico per iniziare a parlare di materia. La scienza dei materiali studia infatti come trasformare la materia in qualcosa di utile, e quindi, in un certo senso, mette in pratica la frase di Shakespeare.

La natura finale dell'oggetto risiede almeno per quelle caratteristiche più fondamentali, già nella natura della materia che lo costituisce. È il materiale che definisce le caratteristiche e le prestazioni dei prodotti, ne limita i processi di fabbricazione e ne determina l'impatto ambientale.

Così le età della tecnologia nella preistoria sono classificate dai materiali in uso. I processi di fabbricazione evolvono nel tempo, e possono cambiare e migliorare anche di molto i prodotti, ma ci sono alcune caratteristiche fondamentali che sono conferite dal materiale e restano invariate.

Per esempio un oggetto di pietra sarà sempre pesante, avrà poche o nessuna parte mobile e difficilmente sarà costituito da componenti assemblati, perché «incollare» la pietra è difficile. Come conseguenza un oggetto in pietra sarà grande, anche molto grande, tipo case e palazzi, una dimensione congeniale al materiale che permette di superare alcune delle difficoltà dette sopra.

Certamente a determinare il successo di un materiale contribuiscono la sua abbondanza e la sua disponibilità (quanto è facile procurarselo). Ma non sono solo questi i fattori che contano. L'età della pietra non è finita per mancanza di pietre. Così la ricerca di nuovi materiali continua incessantemente, e nuovi materiali sostituiscono o si aggiungono ai vecchi. Gli scienziati continuano a sognare.

Uno storico del futuro avrà forse difficoltà a decidere se la nostra epoca sia quella del silicio o quella della plastica. Entrambi questi materiali hanno rivoluzionato la tecnologia, accompagnati da processi sempre più evoluti di fabbricazione, e hanno invaso la nostra vita quotidiana. Eppure entrambi sono ben lontani dal mondo naturale, in conflitto con il sogno sempre più ricorrente degli scienziati di copiare la natura nei suoi meccanismi più fondamentali.

Un circuito integrato è fatto da silicio, arsenico, metalli e plastiche non biodegradabili. Sostanze spesso tossiche, non biocompatibili, molto diverse da ciò che la natura usa per fabbricare la vita e che troviamo nel piatto di insalata. Possiamo andare oltre questa separazione netta e gettare un ponte tra questi due mondi?



Per farlo incominciamo a guardare i componenti della vita. Avendo a disposizione più di 100 elementi, la natura ne usa prevalentemente solo sei, O, C, H, N, Ca, P. Un uomo è fatto al 99% da questi sei elementi.

Tra questi il carbonio ha un ruolo speciale, perché la struttura di tutte le molecole biologiche è fatta da atomi di carbonio. Il motivo non è tanto la sua abbondanza, piuttosto la sua ecletticità. Il carbonio è un trasformista eccezionale. Ha quattro elettroni nelle orbite più esterne che si organizzano a seconda della situazione per formare legami chimici molto diversi tra loro. È come se uno potesse scegliere di avere due, tre o quattro braccia, a seconda di chi incontra.

Il carbonio costituisce materiali brillanti, duri, trasparenti e isolanti come i diamanti o neri e opachi, friabili e conduttori come la grafite. Può essere esfoliato in strati sottili come il grafene, o formare nanotubi e nanosfere del diametro 10.000 volte più piccolo di un capello. Tutto dipende dal tipo di legame chimico. In natura è spesso «coniugato», in catene o anelli in cui gli elettroni sono liberi di muoversi. Questa caratteristica comporta la capacità di condurre l'elettricità.

Un aneddoto mi aiuta a ricordare questo: l'avventura della «tenda rossa». Quando sotto la guida di Umberto Nobile il dirigibile *Italia* perse il controllo e si schiantò sui ghiacci del Polo Nord nel 1928, una parte dell'equipaggio e della strumentazione finì sulla banchisa, dove fu montata la famosa tenda rossa.

Tra i superstiti c'erano fortunatamente il marconista e la sua radio che tuttavia non funzionava. Mancava un componente indispensabile: una resistenza elettrica che potesse essere aggiustata per ottenere la sintonizzazione sulla frequenza di trasmissione corretta.

Decine di migliaia di chilometri da qualsiasi forma di vita umana, procurarsi una resistenza variabile non sembrava davvero un'impresa possibile. Nessun aiuto naturalmente da parte degli orsi che pure giravano curiosi e affamati attorno alla tenda.

La salvezza venne da una matita, semplice e umile cilindro di grafite rivestito di legno. Fu utilizzando la grafite che il marconista poté fabbricare la resistenza che gli serviva e, come nelle migliori favole, chiamare i soccorsi.

Ecco dimostrato: la grafite conduce. La grafite è un multistrato di grafene, che è un singolo strato di atomi di carbonio. Infatti per ora la matita resta la più importante applicazione del grafene. Anche il grafene conduce l'elettricità, per altro in maniera esemplare.

Nel grafene gli atomi di carbonio sono sistemati in un reticolo esagonale, cioè l'organizzazione più stabile e naturale di un insieme di sfere rigide tutte a contatto tra loro in un piano. Tre dei quattro elettroni di ciascun atomo sono coinvolti nei legami chimici che creano la struttura. Il restante quarto elettrone è libero di muoversi sopra e sotto il piano atomico. Complessivamente un mare di elettroni riveste lo strato atomico, conferendogli molte delle proprietà attualmente allo studio.

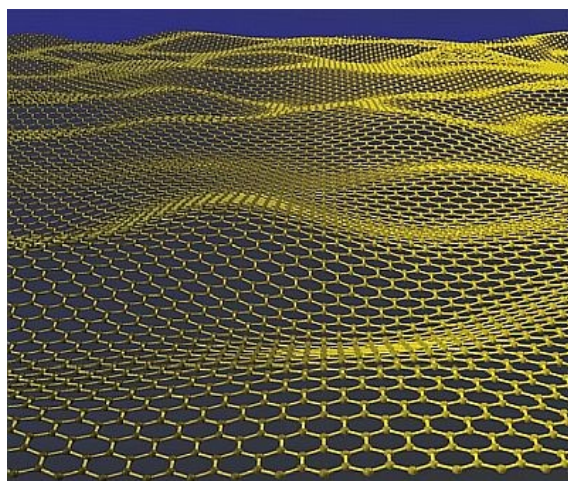
Sembra una magia, ma è invece una conseguenza della meccanica quantistica, che gli elettroni nel grafene abbiano massa quasi nulla, e tendano a comportarsi come fotoni. Inoltre il grafene è il materiale più sottile cui possiamo pensare, e con soli 6 grammi di grafene si può coprire la superficie di un campo di calcio.

Restando in tema di nanotecnologia e parlando di calcio, il più piccolo pallone da calcio è fatto da 60 atomi di carbonio organizzati nella tipica struttura con 20 esagoni e 12 pentagoni, ed è la molecola di fullerene.

Una tecnologia «che si mangia»

I colori del mondo naturale derivano da pigmenti colorati, i carotenoidi, che sono molecole costituite da una catena di atomi di carbonio coniugati. Sono come segmenti rivestiti da una guaina di elettroni liberi di muoversi. Questa caratteristica determina la risposta ottica di queste molecole, perché il campo elettrico della luce mette in oscillazione gli elettroni.

A partire dagli anni Settanta del secolo scorso è stata sviluppata la tecnologia dell'elettronica a base di carbonio. Ora sono arrivati sul mercato i primi prodotti che contengono semiconduttori organici, tipicamente gli schermi dei telefoni portatili o più recentemente anche quelli televisivi. A breve forse anche celle fotovoltaiche, come diremo poi. In questa tecnologia si utilizzano molecole simili a quelle che si trovano in natura, ma sintetizzate in laboratorio.



Modello di grafene

I dispositivi contengono spesso anche vetro, metalli e plastiche. Anche la plastica è fatta dal carbonio, ma si tratta di macromolecole (polimeri) molto grandi e non-coniugate, cioè che sono isolanti dal punto di vista elettrico. Tra questi materiali e quelli bio-organici naturali c'è ancora un divario ampio e non possiamo certo pensare di mangiarceli, ma abbiamo tutte le premesse per fare il passo successivo. Pensiamo ad altre sostanze, quali gomma lacca, zuccheri, coloranti alimentari, albume, che sono naturali e sono fatte da catene di atomi di carbonio coniugati.

Uno dei sogni che vogliamo realizzare presso il centro IIT (Istituto Italiano di Tecnologia) di Milano parte da qui: vedere in questi elementi naturali non la dispensa di un cuoco, ma il magazzino di un ingegnere. Impariamo a costruire dispositivi con sostanze naturali che siano biocompatibili, ingeribili e perfino commestibili. Ho mostrato per esempio che possiamo fabbricare un transistor, che è un interruttore 0/1, l'unità fondamentale dell'elettronica digitale, fatto solo da materiali commestibili.

Una tecnologia che si mangia, per dire che è biocompatibile, è un cambio di paradigma che ci permette di affrontare nuove sfide.

Per esempio mettere informazione e comunicazione nel cibo, per tracciarlo, riconoscerlo, metterlo «in rete», un *Internet of Things* (IoT) degli alimenti per la filiera agro-alimentare del futuro, il supermercato del futuro o il frigorifero del futuro. Oppure realizzare il sogno di Asimov, il «viaggio allucinante» dentro il corpo umano fatto con dispositivi, sonde, sensori che da dentro al corpo comunicano con l'esterno.

Portiamo il medico dentro al paziente. Per misurare pH, Ossigeno, temperature locali, infezioni batteriche, rilascio locale di medicine. Sistemi totalmente riassorbibili in grado di raccogliere e inviare informazioni, che sono bio-mimetici, e riescono a riprodurre non solo funzioni meccaniche, ma anche biochimiche. Senza preoccuparci di dove vanno a finire, perché riassorbibili e digeribili. Possiamo sostituire organi degenerati.

Per esempio pensiamo a un problema non risolto: la cecità indotta dalla degenerazione dei fotorecettori naturali. Vi sono due patologie principali: la retinite pigmentosa e la degenerazione maculare. Le protesi retiniche (in realtà protesi dello strato dei fotorecettori) che sono attualmente allo studio utilizzano dispositivi a base di silicio ed elettrodi metallici. Noi abbiamo realizzato una protesi retinica che è costituita da materiali bio-mimetici, a base di carbonio.

La protesi, per ora impiantata nell'occhio di ratti geneticamente modificati, viene inserita in posizione sub retinica, a contatto delle cellule bipolari da un lato e l'epitelio pigmentato dall'altro. Si tratta di un sottile «petalo» di seta, coperto da due strati polimerici, uno dei quali assorbe la luce. Il meccanismo di funzionamento non è ancora noto, ma la sua funzionalità sembra accertata. I ratti recuperano sensibilità alla luce e anche acuità visiva, ovvero la capacità di distinguere i contrasti.

Il progetto di ricerca della retina artificiale organica è altamente interdisciplinare, spazia dalla scienza dei materiali alla fotofisica, fotobiologia, neuroscienza fino alla medicina. Ovviamente molti ricercatori con background diversi sono coinvolti nello sforzo. Oltre al gruppo di Milano che fabbrica la protesi, vi lavora il *Center for Synaptic Neuroscience* dell'IIT di Genova, guidato da Fabio Benfenati, e l'equipe medica di Grazia Pertile, dell'ospedale Sacro Cuore di Verona. Altri gruppi ancora sono stati coinvolti, come la stazione della sete di Milano e il gruppo di biochimici dell'Aquila guidati da Silvia Bisti.

La frontiera della conoscenza è oggi al confine tra molte discipline, in un area multiculturale difficile da gestire, in cui competenze specifiche devono integrarsi attraverso un linguaggio comune ancora in buona parte da sviluppare. Un po' come nel progresso di una frontiera geografica, dove lingue, culture e paesaggi si mescolano in un unico nuovo calderone da cui uscirà una nuova nazione.

Spazi per l'innovazione nel fotovoltaico

L'utilizzo di molecole e polimeri coniugati offre anche un vantaggio nella fase di processo, perché è possibile stampare i dispositivi elettronici. La stampa da inchiostri è un processo a basso costo che permette la produzione di grandi volumi in tempi limitati e consente notevole flessibilità di design. Presso il nostro centro è nata una start up, *Ribes Tech*, che ha come scopo lo sviluppo di celle fotovoltaiche organiche stampate da inchiostri.

Parlare di fotovoltaico oggi significa parlare di una tecnologia ben nota e matura, diffusa largamente e visibile sulle nostre case o nei campi di produzione elettrica. C'è ancora spazio per soluzioni innovative in questo campo? Si può inventare qualcosa

di nuovo? Secondo noi sì, perché non sempre le grandi rivoluzioni nascono dalla scoperta di nuovi oggetti: a volte è fare le cose note in un modo nuovo la più grande rivoluzione.

L'esempio migliore è proprio dato dall'invenzione della stampa. Sicuramente non possiamo dire che Gutenberg abbia inventato un nuovo oggetto, il libro. Non possiamo nemmeno dire che abbia scoperto come realizzare libri migliori: i manoscritti miniati a mano sono dei capolavori, delle opere d'arte che nessuna stampa può replicare.

La sua grande intuizione è stata fare qualcosa di noto, di farlo forse peggio, ma con un processo molto più intelligente: la stampa. Cambiare il processo di produzione dei libri ne ha trasformato l'utilizzo, da oggetti di nicchia riservati a poche menti illuminate a mezzo di comunicazione di massa. Ne ha espanso la diffusione abbattendo le barriere che limitavano il sapere in pochi circoli ristretti. Ha cambiato le gerarchie sociali portando la filosofia, la teologia, la scienza e le arti alla portata di ogni essere umano. Gutenberg non ha inventato nulla di nuovo ma ha scoperto un nuovo mondo.

Un percorso simile ha caratterizzato la nascita della tecnologia fotovoltaica. La prima osservazione del principio fotovoltaico ovvero che la luce può essere trasformata in corrente elettrica è avvenuta nel 1839 grazie al fisico francese Edmond Becquerel. I primi dispositivi funzionanti vengono dimostrati cento anni dopo nei *Bell Laboratories* in America grazie all'avvento dell'elettronica. Tuttavia seppure quei moduli fotovoltaici fossero già molto simili all'attuale tecnologia al silicio, in pochi pensavano ai tempi che con questa tecnologia si sarebbe potuto generare elettricità con costi competitivi. Le celle fotovoltaiche al tempo erano troppo costose anche solo per pensarle e di fatto le applicazioni erano limitate all'alimentazione dei satelliti e delle boe oceaniche.

La vera svolta è avvenuta venti anni più tardi quando questa domanda è stata posta ad Elliott Berman. Berman si mette allo studio delle tecnologie disponibili al tempo e capisce presto che aumentare l'efficienza di questi moduli non può portare a nessun salto di qualità: le efficienze di allora erano già molto buone e seppure ci fossero ancora margini di miglioramento questi non sarebbero stati sufficienti.

Si accorge che le celle fotovoltaiche erano fatte molto bene, anzi fin troppo. Semplificando il processo produttivo, eliminando le lavorazioni più costose, utilizzando materiali di bassa qualità si potevano comunque realizzare celle fotovoltaiche decenti, meno efficienti forse, ma decisamente molto più economiche.

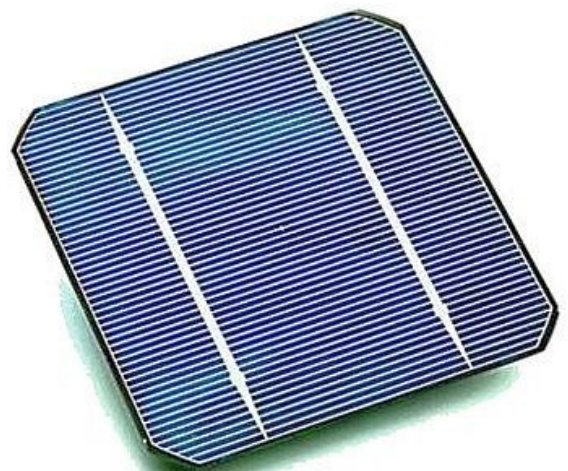
Grazie a questa intuizione Berman semplifica il processo produttivo con la conseguenza di ridurre il prezzo dell'energia fotovoltaica di un fattore cinque in pochi anni. Questo attirerà finalmente l'interesse dei primi investitori avviando l'evoluzione costante della tecnologia che pochi anni fa ha permesso il raggiungimento della *grid parity*. Come Gutenberg, Berman aveva capito che scegliere la strada migliore può essere sbagliato se non impari prima a camminare meglio.

Questo stesso approccio è quello che in *Ribes Tech* abbiamo scelto per portare innovazione nel campo fotovoltaico e non a caso proprio la stampa è il cuore tecnologico del nostro processo. Stampare è un concetto rivoluzionario per il mondo dell'elettronica, abituato a processi produttivi diametralmente opposti. Questi tipicamente utilizzano materiali inorganici, a volte tossici o rari, processi termici ad altissime temperature e lavorazioni in vuoto. Di conseguenza questi permettono lavorazioni molto precise ma lente e costose, adatti a integrare molte funzionalità in oggetti piccoli come un chip di silicio. La stampa al contrario nasce per trattare grandi superfici in tempi rapidi sfruttando lavorazioni veloci che avvengono in aria e a temperature che non superano le poche centinaia di gradi.

Qual è il punto di contatto tra questi mondi diametralmente opposti? L'anello di congiunzione sono i materiali, materiali che hanno la proprietà di condurre o meno la carica elettrica, come gli elementi costitutivi dei dispositivi elettronici, ma che allo stesso tempo possono essere sciolti in un solvente per formare un inchiostro.

Questi inchiostri speciali possono essere trattati come un inchiostro qualsiasi ma, una volta stampati, non solo trasformano il colore della superficie su cui vengono depositati ma possono conferire proprietà elettriche. Questi materiali sono proprio quei polimeri speciali studiati nei laboratori dell'IIT di Milano.

La sfida del nostro progetto è stata raccogliere questi semi di conoscenza innovativa per farli fruttare con applicazioni concrete sfruttando processi industriali maturi come



Una cella fotovoltaica

appunto la stampa. Il punto di contatto da cui nasce *Ribes Tech* non è solo quello tra la stampa e l'elettronica, ma anche tra i luoghi dell'eccellenza scientifica e la realtà industriale.

Se l'invenzione dei caratteri mobili ha permesso la penetrazione della letteratura nella società rinascimentale, quali conseguenze può avere l'elettronica stampata?

Stampare significa trasformare una superficie conferendole nuove proprietà. La stampa elettronica trasforma una superficie qualsiasi conferendole proprietà elettroniche. Attualmente siamo abituati a dividere gli oggetti di uso comune in due categorie, distinguendo gli oggetti «intelligenti» (computer, cellulari, sonde e sensori) da quelli comuni (una bottiglia di plastica, una finestra, un tavolo).

La nostra visione è colmare questa differenza per trasformare ogni oggetto in un oggetto intelligente. Per esempio abbiamo brevettato un'etichetta intelligente, del tutto uguale a quelle convenzionali ma in grado di mostrare informazioni che cambiano dinamicamente adattandosi a condizioni esterne. Una bottiglia di latte può adeguare la scadenza alla temperatura di conservazione, un flacone di medicinali può «contare» quante medicine sono state prese, la vaschetta della carne monitorarne il deterioramento. Oppure finestre o pareti possono diventare attive nella produzione di energia, i vestiti possono ricaricare dispositivi elettronici portatili. Tutte queste applicazioni non possono essere soddisfatte dalla tecnologia elettronica standard ma richiedono processi in grado di realizzare dispositivi fotovoltaici sottili, leggeri e flessibili, che siano a basso costo e che possano essere riciclabili o biodegradabili. Necessitano di un'elettronica stampabile.

Il motivo per cui *Ribes Tech* nasce proprio ora è la consapevolezza che queste applicazioni non sono più solamente idee futuristiche ma concrete possibilità che la tecnologia attuale già permette. Le pellicole fotovoltaiche da noi realizzate sono già da ora in grado di soddisfare le richieste di diverse applicazioni commerciali, integrandosi in oggetti presenti sul mercato.

La loro prima applicazione riguarda la possibilità di trasformare la superficie esterna di qualsiasi dispositivo elettronico in una superficie che possa generare l'energia necessaria ad alimentarlo. Oltretutto i nostri moduli sono particolarmente efficienti negli ambienti *indoor* sfruttando efficientemente l'illuminazione artificiale delle lampade anche quando non vi è un'esposizione diretta alla luce solare.

Gli ambiti di utilizzo sono quelli dell'*Internet of Things*, della domotica e dell'automazione che richiedono un sempre crescente numero di oggetti wireless, ognuno di loro alimentato con batterie. Le nostre pellicole fotovoltaiche possono rendere questi dispositivi davvero indipendenti eliminando la necessità di sostituirle o ricaricarle.

Questo risolve uno dei principali limiti alla diffusione di tali sistemi che attualmente devono essere costantemente monitorati con elevati costi di gestione. A breve, grazie alle nostre pellicole fotovoltaiche, non correremo più il rischio di rimanere con la batteria scarica, riducendo i costi economici e ambientali legati al loro utilizzo.

Se l'applicazione *indoor*, per IoT, è auspicabile in occidente, altre applicazioni quali portare l'energia dove non arriva la rete, con celle fotovoltaiche leggere, facilmente trasportabili e poco costose, può essere l'applicazione giusta per i paesi meno sviluppati, quali l'Africa.

Ricaricare un cellulare o alimentare un piccolo frigorifero per delle medicine, sono azioni normali per noi ma possono diventare vitali in certe situazioni.

È un esempio di come la tecnologia, e quindi la ricerca che l'ha generata, servono all'uomo in generale, aiutandolo a migliorare le sue condizioni di vita a prescindere dall'ambiente in cui si trova.

Guglielmo Lanzani

(Professore Ordinario presso il dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano e coordinatore, dal 2009, del Center for Nano-Science and Technology dell'Istituto Italiano di Tecnologia - IIT - di Genova)

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

A PROPOSITO DI *BIG DATA*

di Mario Mezzanica *

* Professore associato di Sistemi informativi nella facoltà di Scienze statistiche dell'Università di Milano Bicocca

L'innovazione delle tecnologie e una maggiore accessibilità ai dispositivi digitali sono all'origine dell'era odierna dei *Big Data*, un termine utilizzato per indicare l'esplosione della quantità e diversità della disponibilità *immediata* (in *real-time*) di dati digitali. Questi dati rappresentano un grande potenziale per supportare i decisori (*decision maker*) nelle scelte per l'identificazione di linee di evoluzione per lo sviluppo così come per le analisi e correzione delle politiche e azioni avviate.

Nel contempo, anche le scelte dei singoli individui e delle famiglie trovano un supporto informativo sempre più ampio dalla disponibilità immediata di dati digitali, sia che si tratti di scelte legate al tempo libero sia di quelle connesse ad aspetti più rilevanti per le prospettive personali future come i percorsi educativi e professionali.

Le conseguenze dell'epoca in cui viviamo – la cosiddetta società dell'informazione – sono evidenti: un cellulare (oggi *smartphone*) a disposizione di ciascun individuo, uno o più *computer* e/o *tablet* in ogni famiglia e nelle aziende la presenza di sistemi informativi che supportano la gestione della maggior parte dei processi aziendali.

Questi dispositivi, grazie alla diffusione di Internet e del Web, sono interconnessi producendo, elaborando e trasmettendo una così grande quantità di dati da creare una situazione certamente nuova e particolare: siamo subissati da una mole di informazioni fino a pochi decenni fa inimmaginabile e sempre più in crescita.

Tutti noi, per fattori personali o professionali, accediamo continuamente al Web per cercare informazioni e rimaniamo stupiti dalla quantità e sempre più accurata formulazione delle risposte che otteniamo. Per capire meglio il fenomeno di cui stiamo parlando, è importante sapere che l'informazione pubblica disponibile, circa cinque miliardi di pagine¹, che siamo in grado di navigare con libero accesso rappresenta solo il 4 per cento dell'informazione attualmente contenuta nei data base dei computer esistenti, il 96 per cento restante è protetta da password (Bergman, Michael K. 2001).

La digitalizzazione dell'informazione è un fenomeno che sta crescendo con una rapidità elevata e certamente non è immediato cogliere che cosa significa in concreto questa mole di dati. In una recente intervista, Martin Hilbert² sostiene che «nel 2013 la quantità di informazioni immagazzinate nel mondo viene stimata in 1.200 exabyte³, meno del 2 per cento della quale in forma non digitale. Se questa mole di dati venisse raccolta su dei CD-ROM, messi uno sull'altro, arriverebbero alla luna in cinque pile separate».



Quali sono i principali fattori connessi alla crescita vertiginosa della digitalizzazione? Quali possono essere le opportunità e i fattori critici o di rischio per le imprese, per le istituzioni pubbliche e per le persone?

Quale potrebbe essere l'impatto sul contesto sociale ed economico del mondo in cui viviamo?

Queste domande sono certamente rilevanti nella società odierna dei *Big Data*.

I fattori di cambiamento

L'utilizzo dei dati finalizzato a rappresentare, attraverso informazioni numeriche, fenomeni di interesse ha origine migliaia di anni fa. L'antico libro della Bibbia, che si intitola, appunto, «*Numeri*», contiene, tra l'altro la «registrazione di tutti i figli di Israele secondo le loro famiglie, dai vent'anni in su, cioè di tutti coloro che erano abili alla guerra».

«È dalla loro origine che gli statistici, partendo da tecniche antichissime e avvalendosi dei progressi della matematica affinarono nel tempo le procedure volte a migliorare le informazioni numeriche sulle popolazioni e sui diversi fenomeni che le riguardavano, in vista delle decisioni, del controllo o del confronto con altri Stati. La tecnica che dall'origine viene utilizzata per raccogliere ed elaborare le informazioni numeriche sulla totalità della popolazione è quella del censimento. Nell'antica Roma veniva compiuto il «*census*» (censimento solenne) di tutti i cittadini romani che aveva l'obiettivo di verificare la loro attitudine a contribuire agli aggravi della *res publica*» (M. Martini 2004).

Le indagini censuarie riguardano l'intera popolazione oggetto dello studio e forniscono quindi il valore «vero» dei parametri di interesse come percentuali, medie, totali, ma nel contempo sono costose, richiedono tempi lunghi di attuazione e restituiscono informazioni «non attuali» per supportare molti processi decisionali.

Lo sviluppo delle teorie campionarie consente di superare alcune criticità dei censimenti attraverso la raccolta di dati riferiti ad un sottoinsieme casuale della popolazione di interesse (campione).

Queste tecniche sono in grado di inferire l'intera popolazione, al netto di un grado di errore, di incertezza, quantificabile se la scelta del campione risponde a determinati criteri di tipo probabilistico.

Anche le tecniche di campionamento (attuate attraverso la somministrazione di questionari-survey⁴) richiedono tempo per la raccolta dei dati, la loro elaborazione, analisi e eventuale pubblicazione. L'effettuazione di tali indagini sono spesso gravose (per gli intervistati e nell'organizzazione) e costose, soprattutto se si volesse renderle scalabili verticalmente⁵, ovvero aumentarne la profondità (dettaglio) delle analisi.

In tal senso, la scelta di studiare un sottoinsieme dei dati di una popolazione di interesse comporta un compromesso: si può tentare di scoprire quello che si cerca con maggiore rapidità e con costi ridotti (rispetto ai censimenti), ma non si può rispondere a domande che non siano state poste preventivamente.



Entrambe queste tecniche di analisi sono ancora oggi molto utilizzate e continueranno a generare informazioni di rilevante interesse sia a livello personale sia aziendale ed istituzionale. Se nel suo aspetto formale la statistica si avvale di concetti elaborati dalla matematica e dalla logica, con l'avvento dell'informatica si assiste ad una evoluzione della capacità di analizzare popolazioni empiriche (che rappresentano l'oggetto della statistica), spingendosi al di là dei limiti che fino a qualche tempo fa erano resi invalicabili dall'onerosità delle operazioni (M. Martini 2004).

La traiettoria di evoluzione dei censimenti prende infatti in considerazione l'utilizzo integrato di informazioni presenti di archivi amministrativi delle pubbliche amministrazioni⁶, mentre le *survey*, nelle fasi del loro processo di attuazione, sono supportate da applicazioni informatiche che le rendono più efficienti e performanti⁷.

Ciò nonostante, abbiamo visto che queste tecniche sono nate in un momento in cui vi erano forti limitazioni nel trattamento dell'informazione ed in particolare nella capacità di elaborare ed analizzare rapidamente grandi volumi di dati.

Oggi la situazione è cambiata. In molti campi è in atto un processo evolutivo: «dalla raccolta di alcuni dati all'accumulo del maggior quantitativo possibile di essi, e se possibile, di tutti, tale cioè che $N = \text{tutti}$ » (M. Schönberger e K. Cukier 2013).

Questa possibilità permette potenzialmente di avere a disposizione l'intero (o quasi) set dei dati di interesse, e conseguentemente di effettuare studi da diversi punti di osservazione, entrando nei dettagli e cercando risposte in sottogruppi della popolazione anche là dove un approccio di campionamento non sarebbe in grado di arrivare, consentendo quindi un aumento vertiginoso della scalabilità o profondità delle analisi.

Un cambio di paradigma

L'utilizzo di volumi di dati di grandi dimensioni, ovvero dei *Big Data*, ha come immediata conseguenza un cambio di paradigma nell'approccio alle analisi dei fenomeni: da «risposte a domande pre-definite» (dati «precisi», strutturati, raccolti *ad hoc* e di «piccole» dimensioni) a «lasciar parlare i dati», la «*data-driven technology*» (grandi volumi di dati spesso non strutturati, presenza di «imprecisione» e scalabilità delle analisi).

In un recente progetto di ricerca condotto presso il CRISP⁸ sono stati analizzati oltre due milioni di annunci di lavoro pubblicati sul Web e provenienti da fonti differenti ed eterogenee (i principali portali di operatori⁹ che offrono servizi di intermediazione tra domanda ed offerta sul web).

Si tratta di tutti gli annunci¹⁰ che giornalmente vengono pubblicati sui portali selezionati e che opportunamente elaborati consentono di analizzare le professioni richieste (riclassificando i diversi termini lessicali utilizzati nei differenti portali), le loro caratteristiche in termini di *competenze-skill* (estratte dalla descrizione del testo che consente di cogliere le esigenze espresse dalle aziende), il settore economico delle aziende richiedenti ed il territorio nel quale l'attività è richiesta.

Queste informazioni sono disponibili in tempo reale e possono essere utilizzate sia per migliorare la conoscenza dei diversi operatori che si occupano di politiche e servizi, sia per gli utenti finali (persone e imprese) per osservare dove e quali caratteristiche hanno le opportunità di lavoro offerte.

Ma la potenzialità offerta dalla raccolta giornaliera di tutti gli annunci di lavoro consente di andare molto oltre; scoprire ad esempio l'emergere di nuove figure professionali, i cambiamenti in atto in molte professioni (ad esempio, legati alle richieste di conoscenze informatiche per lo svolgimento delle funzioni e/o attività), l'emergere di segnali di cambiamento in atto in settori economici dovuti alla richiesta di professioni caratterizzate da competenze particolari (ad esempio il *trend* verso l'Industria 4.0¹¹ del manifatturiero, evidente per la richiesta nel settore di competenze e professionalità che rispecchiano esigenze legate ad alto tasso di automazione, gestione dei dati, della sicurezza informatica, della analisi quantitativa, etc.), così come la possibilità per le persone di evidenziare il gap lavorativo tra le proprie competenze e quelle attese o richieste dal mercato, individuando così percorsi formativi per accedere a nuove opportunità professionali.

Il principale fattore di diversità di un approccio *Big Data* rispetto ai tradizionali approcci basati su *survey* si manifesta, raccogliendo in *real-time* la totalità (o quasi) dei dati e lasciando «parlare i dati»; facendo cioè emergere domande e possibili risposte su aspetti assolutamente nuovi e impossibili da esaminare con un approccio basato su *survey* che colleziona dati che possono consentire risposte solo ed esclusivamente ad esigenze pre-definite.

Nel corso del progetto sono state utilizzate diverse tecniche (*machine learning*, *information extraction* e *mining*, per citarne alcune) per analizzare la grande quantità di dati disponibile nel Web. Queste tecniche, sono applicabili attraverso strumenti (algoritmi) prevalentemente di apprendimento automatico; gli algoritmi utilizzati ad esempio per classificare le professioni (descritte in linguaggio naturale e quindi fortemente eterogenee tra portali e nel singolo portale), consentono di «*insegnare alla macchina*» come riconoscere automaticamente le professioni e, sulla base dei dati utilizzati per l'apprendimento, prendere «decisioni intelligenti» basate sull'esperienza accumulata; il risultato che viene prodotto conterrà sempre un'alea di errore o inesattezza, che si riduce notevolmente al crescere dell'«accuratezza» e «completezza» del set dati utilizzato per l'addestramento.

La difficoltà nel valutare la qualità e la precisione derivante da un approccio *Big Data* (N = tutti o quasi) rispetto ad uno basato su basi di dati raccolti *ad hoc* (e quindi di dimensioni ridotte) è controbilanciata dall'aumento delle potenzialità di analisi.

Lasciar «parlare i dati» significa favorire un approccio, nel processo di analisi dei fenomeni di interesse, basato sulle domande che emergono dall'osservazione di correlazioni esistenti tra oggetti o fatti «nascosti», difficili da conoscere *a-priori* e senza un'osservazione «*data-driven*» del fenomeno o della realtà di interesse.

Prendiamo in considerazione un esempio nell'area commerciale: *Amazon* raccomanda libri ai suoi clienti in base alle preferenze d'acquisto di ciascuno, avendo raccolto nel proprio sistema informativo una enorme quantità di dati dei suoi clienti: cosa acquistano, cosa guardano, quanto tempo dedicano ad osservare un oggetto (che acquistano o solo guardano), ecc..

Sulla base della grande mole di dati a disposizione *Amazon* ha inizialmente utilizzato un approccio teso a cogliere gli interessi dei clienti attraverso analisi a campionamento per effettuare proposte di acquisto «personalizzate».

Successivamente, lo stesso scopo è stato perseguito attraverso l'identificazione delle associazioni o correlazioni tra prodotti «acquistati» o «osservati», utilizzando i dati relativi a tutti i *click* effettuati dai clienti sul proprio portale. Questo metodo ha migliorato significativamente diversi aspetti della relazione con i clienti, riducendo i costi, aumentando i casi di successo nelle vendite ed è utilizzato oggi in molti portali di commercio elettronico.

Questo secondo approccio, basato sulla correlazione tra prodotti sposta apparentemente l'attenzione della spiegazione di un fenomeno dal perché accade (principio di causalità) a cosa accade (osservazione delle correlazione tra oggetti o fatti).

«Se apparentemente ed in alcuni casi questo fatto si può verificare, in molti casi, la ricerca più approfondita di una connessione causale avverrà dopo che i *Big Data* avranno fatto il loro lavoro, quando vorremo analizzare il *perché*, anziché limitarci a scoprire il *cosa*» (M. Schönberger e K. Cukier 2013).

Questa attenzione al *cosa* accade come elemento che può precedere la domanda del *perché* (contribuendo ad ampliarla ed approfondirla) è riscontrabile non solo nei contesti socio economici o commerciali, ma anche in quelli relazionali, lavorativi e non, degli individui.

In una recente pubblicazione Pentland¹² riporta i risultati di studi che utilizzano i *Big Data* per analizzare le interazioni tra persone e gli scambi informativi tra gruppi di lavoro in diversi contesti aziendali (*call center*, gruppi di ricerca, ecc).

Questi dati raccolti tramite l'utilizzo di *badge sociometrici*¹³ e particolari applicazioni su *smartphone*¹⁴, hanno consentito di studiare cosa accade, in termini principalmente di comportamenti di persone in un dato contesto organizzativo, con l'obiettivo di identificarne le scelte e il perché delle stesse nella prospettiva di migliorare i risultati di un gruppo di lavoro.

Le analisi effettuate hanno consentito di verificare che in molti casi «il principale fattore di produttività e creatività è la quantità di opportunità di apprendimento sociale che si manifesta generalmente tramite le interazioni faccia a faccia tra colleghi».

In altri termini, arriva ad affermare Pentland attraverso l'osservazione di una enorme quantità di dati, «tante idee importanti su come raggiungere il successo e migliorare il rendimento sul lavoro possono emergere durante la pausa caffè o in mensa; ribadendo l'importanza del coinvolgimento e della partecipazione diretta, elementi che favoriscono il flusso delle idee, come fattori primari di una buona organizzazione».



I fattori di criticità

Le opportunità connesse all'utilizzo dei *Big Data* sono principalmente legate alla possibilità di studiare e analizzare fenomeni con un livello di puntualità, capillarità e flessibilità mai riscontrati fino ad ora. Nel contempo, tali opportunità presentano alcuni aspetti critici che vanno affrontati: chi possiede i big data e quale possibilità di accesso è disponibile?

Quale impatto sulla concezione della privacy? Esiste un possibile rischio di dittatura dei dati?

Nello scenario attuale abbiamo due principali tipologie di soggetti che certamente hanno un grande predominio nella raccolta di informazioni di cittadini e imprese: i grandi *social network* da una parte e le pubbliche amministrazioni dall'altra.

Facebook, *Twitter*, *LinkedIn* e *Google+* per citarne alcuni dei più noti, sono «*social network*» che consentono agli utenti la creazione di un profilo pubblico o semi-pubblico con opportuni vincoli di visibilità e accesso all'informazione pubblicata, l'articolazione di una lista di contatti e la possibilità di scorrere la lista di amici dei propri contatti.

La creazione del proprio profilo comporta la messa a disposizione di informazioni come il proprio indirizzo *mail*, i propri interessi e passioni e le esperienze lavorative. La «rete degli amici» si amplia continuamente e senza limiti prefissati con contatti che si propagano con «gli amici degli amici».

I servizi dei *social network* sono gratuiti per gli utenti e consentono ai gestori dei siti di trarre vantaggio economico principalmente dalla fornitura a terzi delle informazioni degli utenti e dalla pubblicità mirata che le aziende indirizzano agli utenti stessi e di cui possiedono dati estremamente rilevanti (siti visitati, *link* aperti, permanenza media, oltre a tutte le informazioni personali che gli utenti stessi hanno inserito).

Quello che emerge è una «*base di conoscenza*» alimentata gratuitamente da persone e imprese che non ha precedenti e che consente ai proprietari dei *social network*, un «potere informativo» e conseguentemente socio-economico rilevante. Identicamente questo si verifica per i gestori delle reti cellulari, dei motori di ricerca e della pubblica amministrazione.

Anche se un utente può «limitare» l'accesso ai suoi dati è evidente che ad oggi la capacità di analizzare ed elaborare informazioni personali di così grande portata (*Big Data*) è «predominio» dei grandi gestori dei social, della telefonia cellulare e degli Stati.

Questo fatto apre molte domande sul potere informativo in capo a pochi soggetti e sulla legislazione in materia di trattamento e *privacy* dei dati personali. Quest'ultima è sostanzialmente basata sul consenso informato¹⁵ che nella «sostanza» ha dato origine a pagine Web (o cartacee) che non vengono quasi mai lette e/o capite ed accettate a priori per poter fruire di un servizio.

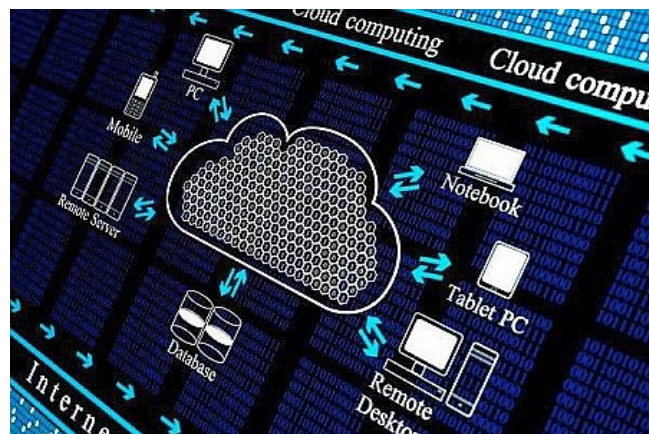
Il tema della *privacy* è certamente in evoluzione, e se da un lato le normative esistenti e le *authority* che si occupano della materia hanno introdotto regole sempre più stringenti e puntuali sul trattamento dei dati personali, dall'altro, nello scenario dei *Big Data*, sono gli utenti che decidono di rendere pubblici i propri dati personali e, in cambio di servizi, permettono ai gestori dei *social network* di poterli analizzare ed utilizzare per diversi scopi.

Uno dei nodi principali sta proprio nel definire *gli scopi* di utilizzo che non possono essere dettagliati ed enumerati esaustivamente nell'atto di raccolta delle informazioni (consenso informato).

Un elemento molto utilizzato nell'analisi di dati personali (con attenzione alla tutela della *privacy* – riconoscibilità dei soggetti) è rappresentato dalla loro anonimizzazione. Ma l'utilizzo dei *Big Data*, in molti casi, ha dimostrato che si può arrivare all'identificazione dei singoli e che pertanto l'anonimizzazione non sempre è sufficiente.

Occorrerà studiare nuove «regole» per la protezione della *privacy* ponendo l'attenzione nell'identificare nuovi fattori su cui si dovranno fondare per superare gli attuali limiti del consenso informato e dell'anonimizzazione.

Siamo di fronte a scenari già vissuti anche nella storia recente (l'avvento di Internet e del Web) tipici di una situazione innovativa ed in evoluzione, i cui confini non sono delimitati e delimitabili facilmente e dove occorre trovare un punto corretto di equilibrio tra le novità offerte dall'innovazione e la tutela della *privacy*.



Il problema è che questo punto di equilibrio nell'era dei *Big Data* non è facilmente identificabile con dei «tecnicismi»; le potenzialità di sfruttamento informativo e conoscitivo offerte dai *Big Data* superano infatti di gran lunga lo scopo primario per cui i dati sono raccolti, aprendo ampie possibilità di analisi su *fatti secondari* e non preventivamente definibili.

Questo fatto ripropone l'attenzione sul concetto di scopo che evolvendo nel tempo, in relazione alla quantità sempre più ampia di dati raccolti e alla loro combinazione (correlazione) possibile, non può che essere associato ad un concetto di responsabilità.

«Se da una parte occorre assicurare garanzie reali affinché i dati necessari per il bene pubblico siano facilmente reperibili, dall'altra è indispensabile proteggere la tutela della *privacy* e della libertà» (A. Pentland, 2015).

Un rischio latente di utilizzo improprio dei *Big Data* è riscontrabile nella capacità di elaborare grandi quantità di informazioni personali per effettuare previsioni che potrebbero «condizionare» la vita delle persone. «Sono sempre più numerose le città degli Stati Uniti che impiegano la sorveglianza preventiva: si usa l'analisi dei *Big Data* per selezionare le strade, i gruppi e gli individui da tenere particolarmente sotto controllo, per il solo fatto che un algoritmo ha identificato in essi una più alta propensione alla criminalità.

Se da un lato, lo scopo di prevenzione di crimini o rischi per le persone che possiamo attuare con le analisi dei *big data* può contribuire alla sicurezza, da un altro punto di osservazione potrebbe diventare (come ben è stato rappresentato nel film *Minority Report* del 2002) oltremodo pericoloso l'utilizzo di previsioni estratte dai *Big Data* per stabilire se qualcuno è colpevole e andrebbe punito per un comportamento che non è ancora stato messo in atto» (Schönberger e Cukier 2013¹⁶).

Responsabilità per la costruzione di una società migliore, libertà e tutela della *privacy* sono fattori che nell'era dei *Big Data* sono fortemente riproposti e chiedono di essere affrontati andando oltre i pur importanti aspetti metodologici e tecnici e rimettendo al centro la concezione di individuo nella sua dimensione personale e sociale.

Conclusioni

L'utilizzo dei dati e delle informazioni da essi elaborate sono una realtà sempre più presente per la conoscenza dei fenomeni e per il supporto dei processi decisionali, supportando il «*fact-based decision making*», dove i *fatti* risiedono nei dati accumulati nei contesti socio-economici, aziendali e personali.

L'evoluzione tecnologica degli ultimi decenni, in particolare con la nuova generazione di Internet, del Web e delle tecniche di elaborazione ed analisi dei dati ha dato delle spinte fino a poco tempo fa inimmaginabili nella disponibilità di informazioni ed è facile cogliere che questo fenomeno crescerà rapidamente nel prossimo futuro.

Seppur le tecniche di raccolta e di analisi tradizionali (censuarie e a campionamento) sono cresciute e in molti contesti daranno ancora un importante contributo, è evidente che i *Big Data* si stanno affermando come «strumento» innovativo in tutti gli ambiti (professionali e personali) sia per la comprensione dei avvenimenti sia per l'identificazione e realizzazione di nuovi servizi.

Il nuovo paradigma con cui possiamo rappresentare quella che viene chiamata l'era dei *Big Data*, sintetizzabile nel «lasciar parlare i dati», esprime un importante fattore di novità: l'osservazione di ciò che accade, per conoscere lealmente i fatti e favorire un approccio alla conoscenza che allarghi lo spettro delle domande relative al perché accadono. In una celebre frase, Alexis Carrel affermava: «molta osservazione e poco ragionamento conducono alla verità; poca osservazione e molto ragionamento conducono all'errore».

Come abbiamo osservato i *Big Data* entrano in gioco in moltissimi campi della vita e possono contribuire al progresso della conoscenza e conseguentemente al miglioramento ed allo sviluppo della vita sociale, degli scopi aziendali e delle scelte personali. Ma spesso, una così ampia disponibilità di informazioni potrebbe creare «confusione» e in taluni casi scelte e azioni in forte contrasto con la libertà e i diritti fondamentali degli individui.



È in questo senso che la questione aperta è innanzitutto culturale, e quindi educativa e formativa. Le metodologie e le tecniche di trattamento dei *Big Data* si stanno evolvendo molto rapidamente e sono richieste nel mercato del lavoro nuove professionalità.

Diverse sono le iniziative in atto, specialmente a livello dei corsi universitari, che in tutto il mondo sono state avviate o si stanno intraprendendo per formare i così detti «*Data Scientist*», gli specialisti nel trattamento e analisi dei *Big Data*.

Se sono necessarie competenze sulle metodologie e tecniche (matematiche, statistiche e informatiche) che sono alla base del trattamento ed analisi dei *Big Data*, è nel contempo evidente che occorrerà porre molta attenzione alla creazione di professionalità che sappiano affrontare lo studio di problemi con una forte attenzione allo scopo e che possiedano quindi una capacità ampia di *apertura* alla realtà.

I *Big Data* sono in questo senso un'occasione per riproporre quale sia il nesso tra tecnologia e persona, tra tecnologia e sviluppo sociale ed economico, per evitare una concezione in cui la persona debba passivamente adeguarsi all'innovazione tecnologica; come riportato in un famoso slogan dell'EXPO di Chicago del 1933: «La scienza trova, l'industria applica, l'uomo si adegua».

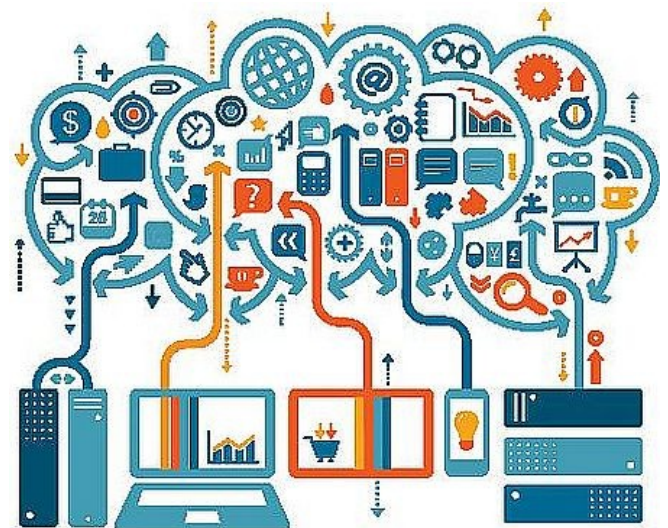
Come la storia ci insegna le invenzioni e le innovazioni tecnologiche sono uno strumento, ma la scintilla dell'innovazione, dell'invenzione è nella persona che, per rispondere ai propri (e degli altri) infiniti bisogni sviluppa la sua curiosità, creatività ed il suo ingegno, fattori che costituiscono sostanzialmente la fonte del progresso.

In questo senso occorre affermare che i *Big Data* sono uno strumento che ci aiuterà a migliorare la conoscenza ma nel contempo dobbiamo ricordare che sono imperfetti (perché gli strumenti che usiamo sono imperfetti) e più in generale ogni tentativo umano è di per se imperfetto; questo fatto non significa che stiamo sbagliando ma che occorre essere profondamente coscienti dell'imperfezione o incompletezza delle analisi che effettuiamo pur avendo a disposizione una enorme quantità di dati (N = tutti - o quasi).

«Non bisogna negare le intuizioni che offrono i *Big Data*, ma occorre inquadrarli per quello che sono: uno strumento che non dà risposte definitive, solo risposte in grado di aiutarci nell'immediato, finché non emergeranno metodi migliori e quindi anche risposte più soddisfacenti. Ciò significa anche che dobbiamo usare questo strumento con una buona dose di umiltà ... e di umanità» (Schönberger e Cukier, 2013).

Mario Mezzanica

(Laureato nel 1985 al Politecnico di Milano, è professore associato di Sistemi informativi nella facoltà di Scienze statistiche dell'Università di Milano Bicocca)



Note

1. www.worldwidewebsize.com
2. *Estimate of the amount of stored information by 2013* – Cukier interview with M. Hillbert, 2012
3. Un exabyte = un miliardo di gigabyte (10^{18})
4. Oggi sempre più le informazioni delle *survey* vengono raccolte attraverso l'utilizzo di applicazioni informatiche al fine di ottimizzare costi, tempi di raccolta, performance di elaborazione ed errori di digitazione
5. Scalabilità verticale: dal macro al micro e viceversa – es. possibilità da un campione a livello territoriale nazionale di ottenere informazioni fino a livello territoriale comunale;
6. Importanti ed avanzati approcci - in tal senso sono in essere soprattutto nei paesi del nord Europa e negli Stati Uniti;

7. CATI - *Computer Assisted Telephone Interview* e CAWI - *Computer Assisted Web Interviewing*;
8. Centro di Ricerca Interuniversitario per i Servizi di Pubblica Utilità – Università di Milano Bicocca
9. Portali specialistici, di operatori di servizi per il lavoro e di testate giornalistiche nazionali
10. Un annuncio di lavoro consiste in un titolo, dove viene espressa la professione ricercata e una descrizione testuale della stessa contenente competenze e altri requisiti richiesti dall'azienda; sono dati non strutturati cioè in linguaggio naturale.
11. Industria 4.0 o la quarta rivoluzione industriale, è la prospettiva di evoluzione dei settori produttivi in un'ottica di elevata automazione e valorizzazione in tutti i processi aziendali dei *Big Data*.
12. Prof. Alex 'Sandy' Pentland, direttore dello *Human Dynamics Laboratory* e il *Media Lab Entrepreneurship Program* del MIT.
13. I *badge sociometrici* sono dispositivi elettronici che consentono di raccogliere dati specifici sui comportamenti a livello di comunicazione delle persone che li indossano: tono della voce, linguaggio del corpo (attraverso un accelerometro), con chi e per quanto tempo parlano ecc.
14. Sistema sensorio per telefonia mobile: applicazioni informatiche per *smartphone* che consentono di raccogliere dati relativi a: localizzazione, vicinanza, attività di comunicazione, applicazioni installate e attive, file utilizzati e molti altri dati.
15. Con questi dati è possibile ricostruire automaticamente le molteplici modalità interattive dei partecipanti le sperimentazioni.
16. Il consenso informato si basa sull'essere informati preventivamente su quali informazioni vengono raccolte e per quale scopo e poter conseguentemente rilasciare il consenso all'utilizzo dei dati richiesti.
17. In: *Big Data* di V. Schönberger e K. Cukier, Garzanti 2013: citazione di J Vlahos, *The department of Pre-Crime*, "Scientific American" 306 gennaio 2012)

Bibliografia

La Statistica, Marco Martini, in "Studi in Ricordo di Marco Martini", A cura di Matteo Pelagatti, Giuffrè Editore, Milano 2004;

Fisica Sociale, Alex 'Sandy' Pentland, EGEA S.p.A., Milano 2015;

Bergman, Michael K. "White paper: the deep web: surfacing hidden value", *Journal of Electronic Publishing* 7.1 (2001);

Riflessioni sulla condotta della vita, Alexis Carrel, Editore - Cantagalli, Siena 2003;

BIG DATA - Una rivoluzione che trasformerà il nostro modo di vivere e già minaccia la nostra libertà, V. M. Schönberger e K. Cukier, Garzanti, Milano 2013.

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

LA ROBOTICA, UN BENE PER L'UOMO?

di Francesca Negrello* e Marco Camurri **

* Dottoranda presso il dipartimento di Advanced Robotics all'Istituto Italiano di Tecnologia

** Dottorando presso il Dynamic Legged System Lab del dipartimento di Advanced Robotics all'Istituto Italiano di Tecnologia

A partire dai primi anni del novecento i *robot* e l'intelligenza artificiale hanno popolato le opere di fantascienza e stuzzicato l'immaginario collettivo sulla possibilità di vivere quotidianamente a stretto contatto con macchine intelligenti che si comportano come esseri umani, o che addirittura superino l'intelligenza umana, a volte con conseguenze disastrose per l'uomo.

Oggi la robotica è sempre più realtà, ma quanto si discosta dalla fantascienza?

È davvero possibile realizzare macchine in grado di pensare, o addirittura avere una coscienza?

Che benefici può avere per l'uomo?

Cerchiamo di scoprirlo insieme partendo dalle origini fino ai giorni nostri.

Cos'è la robotica? La robotica è la branca dell'ingegneria che interessa la progettazione (hardware e software), lo sviluppo e lo studio dei *robot*, macchine pensate per svolgere autonomamente dei compiti specifici.

In essa si incontrano varie scienze e discipline, quali automazione, elettronica, fisica, informatica, matematica e meccanica. A queste si aggiungono scienze naturali e sociali da cui trae ispirazione, come la biologia, la fisiologia e la psicologia.

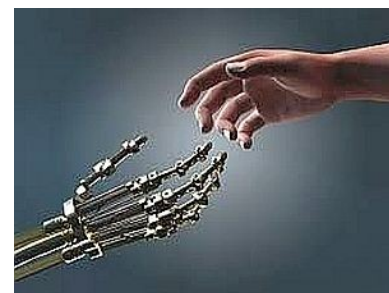
Il termine *robot* è stato usato per la prima volta nell'opera teatrale «I *robot* universali di Rossum», dello scrittore ceco Karel Čapek. Esso deriva dalla parola ceca «*robota*», che significa lavoro pesante, ed è derivata a propria volta dall'antico slavo ecclesiastico «*rabota*», servitù.

In origine utilizzata nei romanzi di fantascienza per indicare degli automi, spesso con sembianze umane, oggi la parola «*robot*» identifica una qualsiasi macchina in grado di svolgere un dato compito con un determinato livello di autonomia, indipendentemente dalla sua forma o dimensione.

Le origini: i *protoautomi*

«In effetti l'uomo si dimostra essere cosa divina perché dove la natura finisce di produrre le sue *spetie* l'uomo quivi comincia colle cose naturali a fare coll'aiutorio d'essa natura infinite *spetie*» Leonardo da Vinci (1452-1519).

L'uomo fin dalle sue origini si è distinto per la sua creatività e capacità di plasmare l'ambiente e, a conferma di questo, gli studiosi identificano la comparsa della specie «*homo*» con la capacità di inventare ed utilizzare attrezzi (*Homo habilis*).

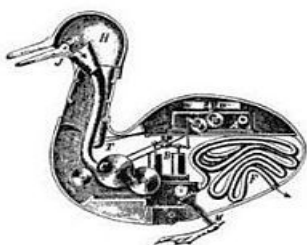


Nel corso della storia lo sviluppo tecnologico ha portato all'utilizzo di strumenti sempre più complessi ed alla realizzazione di macchine che hanno reso possibili cose prima impensabili, come il volo o la conquista dello spazio. L'idea apparentemente moderna di realizzare dei sistemi meccanici autonomi e intelligenti era già presente nei miti e nelle leggende delle culture di tutto il mondo.

Il primo progetto di *robot* umanoide a noi noto, il cavaliere meccanico, si deve a Leonardo da Vinci e porta la data del 1495. Colui che invece realizzò il primo *robot* funzionante fu Jacques de Vaucanson, che nel 1738 fabbricò un androide suonatore di flauto in grado di riprodurre movimenti complessi.

Nel 1769 Wolfgang De Kempelen, un inventore ungherese al servizio dell'imperatrice Maria Teresa di Vienna, sviluppò il «Turco meccanico», un automa apparentemente in grado di giocare automaticamente a scacchi. In realtà, il «Turco» era azionato da un giocatore umano nascosto all'interno del congegno.

A Kempelen si possono ricondurre numerosi contributi in termini della ricerca in robotica, compresa la macchina parlante descritta nel «*Mechanismus der menschlichen Sprache nebst Beschreibung einer sprechenden Maschine*» (1791). Tali proto-automati, tuttavia, restavano meccanismi non programmabili, e di fatto non autonomi.



Da sinistra a destra e dall'alto in basso troviamo vari esempi di automi: l'anatra meccanica di de Vaucanson, il turco di De Kempelen, il suonatore di flauto di de Vaucanson, il leone di Leonardo da Vinci e gli automi di Jaquet-Droz.

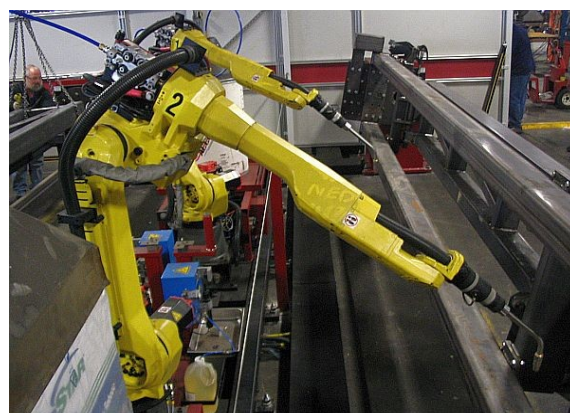
La robotica oggi: una realtà molto diversificata

La robotica, così come la intendiamo oggi, fa la sua comparsa negli anni '70 come supporto alla produzione industriale.

Caratteristica fondamentale di queste applicazioni è la separazione tra uomo e robot fisicamente isolati al fine di garantire la sicurezza degli operatori. I primi *robot* industriali inoltre operavano in ambienti completamente strutturati, ovvero dove le posizioni di tutti gli oggetti con cui il *robot* doveva interagire erano note a priori.

L'interazione *uomo-robot* e la capacità di compiere azioni in ambienti dinamici o situazioni non prestabilite sono tutt'ora oggetto di ricerca in ambito robotico.

Oggi i *robot* trovano impiego al fine di affiancare o sostituire l'uomo, ad esempio nella manipolazione di materiali pesanti e pericolosi, in ambienti proibitivi o non compatibili con la condizione umana o semplicemente per liberare l'uomo da compiti gravosi o sgradevoli.

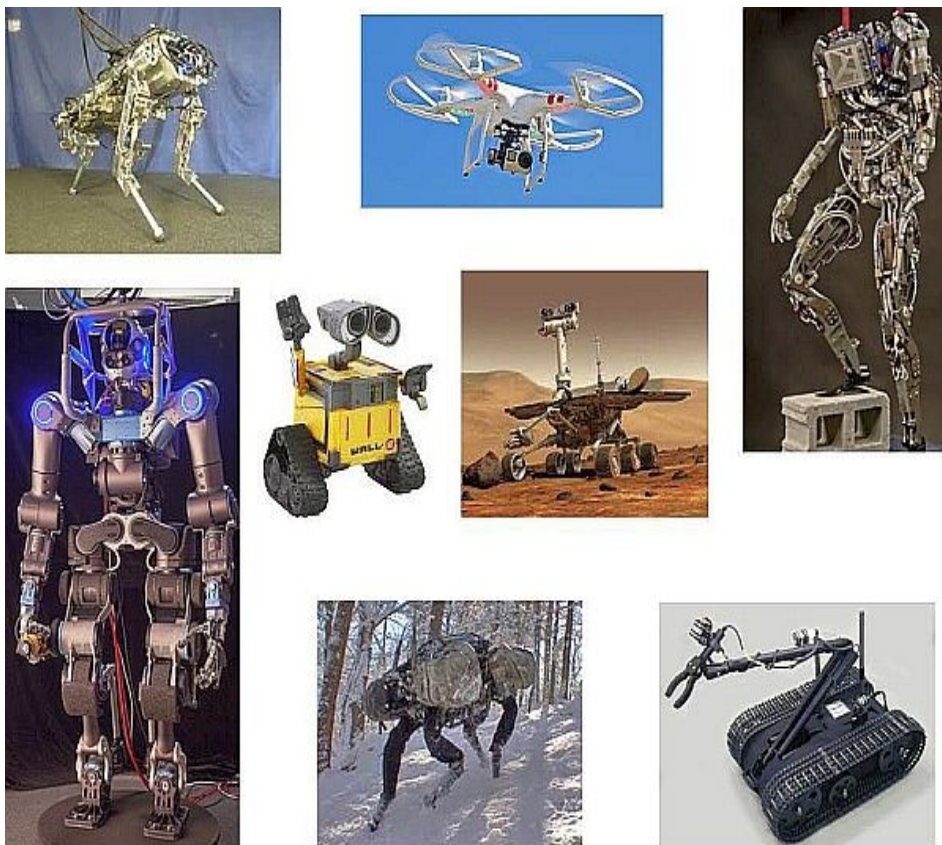


I robot industriali hanno solitamente una base fissa, e compiono la stessa operazione sempre

Orientarsi nel panorama della robotica può essere complesso data la vastità della materia e la varietà di applicazioni. Una prima distinzione può essere fatta a partire dal tipo di compito che i diversi robot assolvono. Secondo questo criterio è possibile individuare tre grandi aree:

a) Field robotics

il cui scopo principale è sostituire l'uomo nelle attività che comportano un alto rischio per la vita umana, secondo la definizione americana, nelle missioni DDD («Dull, Dirty & Dangerous», «ripetitivo, sporco e pericoloso»). A questa categoria appartengono ad esempio i robot artificieri, i rover spaziali, i droni, ma anche robot sottomarini, quadrupedi ed umanoidi.

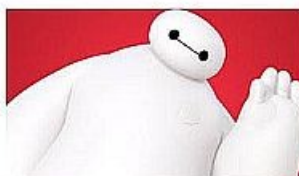
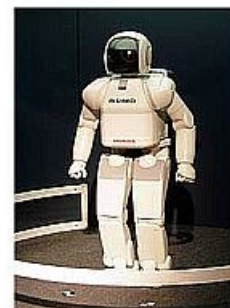
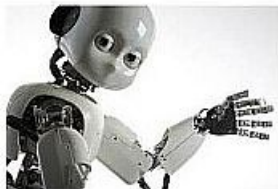


Da sinistra a destra e dall'alto in basso troviamo: il cane robotico HyQ (IIT), un quadrotor, il robot umanoide Atlas (Boston Dynamics), il robot umanoide Walk-man (IIT), Wall-e (Disney-Pixar), il rover spaziale Spirit (NASA), il quadrupede BigDog (Boston Dynamics) ed un robot artificiere.

B) Robot di servizio,

pensati per assistere l'uomo nella sua quotidianità, nell'immaginario comune sono spesso identificati con i robot umanoidi, oggi ancora poco diffusi e prerogativa dei laboratori di ricerca. Robot dedicati a compiti più specifici sono invece già nelle nostre case, come gli aspirapolvere intelligenti, i sistemi di domotica e i robot da cucina.

Da sinistra a destra e dall'alto in basso troviamo ICUB (IIT), R2-D2 e C-3PO (Star Wars), Asimo (Honda), Baymax (Disney), Roomba (iRobot), e ARMARX (KIT).



χ) L'ultima categoria, più attinente alla medicina, si può definire come sistemi riabilitativi o di potenziamento e comprende esoscheletri, protesi, dispositivi per assistere le operazioni chirurgiche e per la riabilitazione. Come si può intuire ricadono in questa categoria tutti i sistemi robotici che mirano a sostituire parti o funzioni dell'uomo o che collaborano alla loro riabilitazione.

Da sinistra a destra e dall'alto in basso troviamo: la mano protesica Soft-Hand (Pisa-IIT), il sistema di chirurgia assistita «Da Vinci» (Intuitive Surgical), l'esoscheletro per la mano Soft glove (Harvard Biodesign Lab), la gamba esoscheletro (MIT), la piattaforma riabilitativa Arbot Platform (IIT), il mouse per non vedenti TAMO3 (IIT).



Quanta autonomia?

«Ho detto «vostra civiltà» di proposito, perché non appena noi cominciammo a pensare per voi diventò la nostra civiltà, e questa naturalmente è la ragione per cui noi ora siamo qui» (Agente Smith, *The Matrix*, 1999).

La caratteristica distintiva dei *robot* moderni è l'autonomia. Quando si parla di autonomia, si intendono in realtà molte cose diverse, per esempio: la durata delle batterie (autonomia energetica), la capacità di mantenere l'equilibrio da soli (autonomia posturale) o trovare la strada di casa (navigazione autonoma).

In generale, si può definire l'autonomia come *la capacità di definire i propri obiettivi e il modo di raggiungerli senza l'intervento dell'uomo, o col minimo intervento possibile* (David Vernon, *Artificial Cognitive Systems – A primer*).

Già oggi *robot* di uso comune sono in grado di svolgere alcuni compiti con un certo livello di autonomia: i *robot* aspirapolvere possono orientarsi all'interno delle nostre case per spazzolarle da cima a fondo, per poi tornare alla base di ricarica; i sistemi domotici regolano automaticamente temperatura e illuminazione della casa sulla base delle abitudini di chi vi abita; le automobili a guida autonoma possono percorrere migliaia di chilometri su strade trafficate, riconoscendo la segnaletica stradale, le altre automobili e i pedoni. Ma fino a che punto un *robot* dovrebbe essere autonomo?

Se da una parte è evidente che per facilitarci un compito un *robot* dovrebbe richiedere meno tempo a essere istruito che a svolgere il compito stesso, lasciar «decidere» alla macchina cosa svolgere e come potrebbe avere delle conseguenze impreviste e controverse: di fronte all'inevitabilità di un incidente, con quale criterio una automobile a guida autonoma dovrebbe decidere chi salvare?

Dovrebbe salvaguardare prima di tutto i propri passeggeri, cercare di salvare chi ha più probabilità di sopravvivere o scegliere casualmente?

Questa e molte altre domande etiche sulla robotica (*roboethics*) sono al centro di grandi dibattiti, segno che la questione etica sia ancora molto aperta e difficile da esaurire in poche leggi o regole.

È importante non lasciare che di queste domande se ne occupino solo gli esperti, ma che ognuno di noi si chieda quali siano i limiti di autonomia decisionale vorremmo vedere in un *robot*, superati i quali inizieremmo ad avvertire un senso di insicurezza o disagio nel nostro rapporto con gli automi.

Ma i robot sanno davvero pensare?

«Alan M. Turing pensò a un criterio per chiedersi se le macchine possano pensare, una domanda che oggi sappiamo avere la stessa pertinenza dell'interrogarsi se i sottomarini possano nuotare» (E. Dijkstra, informatico olandese, 1930-2002).

Alti livelli di autonomia impongono che un *robot* impari ad elaborare ciò che percepisce del mondo, anticipi i bisogni dell'uomo, pianifichi delle azioni per soddisfarli e preveda le conseguenze di queste azioni. In poche parole, la macchina dovrebbe saper «ragionare» per poi prendere delle decisioni di cui prevede l'esito.

Robot dotati di queste abilità sono esempi di sistemi cognitivi artificiali, un campo di ricerca molto ampio che abbraccia non solo l'ingegneria ma anche soprattutto la psicologia e le neuroscienze, in quanto molti concetti relativi alla cognizione umana confluiscono nella realizzazione di *robot* con capacità cognitive artificiali, e talvolta questi ultimi vengono costruiti proprio per poter studiare meglio l'uomo e la sua capacità di pensare.

Nei suoi pionieristici studi sui computer, Alan Turing immaginò un test per quantificare la capacità di una intelligenza artificiale: l'idea fu quella di istruire un soggetto umano ad iniziare una conversazione con un altro soggetto attraverso lo scambio di messaggi utilizzando la tastiera di un terminale senza sapere se a rispondere fosse una macchina o un altro essere umano.

Il test consisteva nel verificare quante volte la macchina fosse in grado di «ingannare» l'uomo. In realtà, una macchina in grado di superare il test, ovvero che possa passare per umana con una certa percentuale di successo, dimostrerebbe solamente di poter imitare la capacità umana di pensare, e non effettivamente di pensare.

«La vera questione non è capire se le macchine pensino, ma se siano gli uomini a farlo. Il mistero che avvolge una macchina dotata di pensiero avvolge prima quello di un uomo che pensa» (B. F. Skinner 1904-1990).

Sebbene il funzionamento e il significato del pensiero umano sia ancora parzialmente avvolto da mistero e oggetto di studio per filosofi, psicologi e neuroscienziati, chiedersi se

una macchina sia in grado di pensare è in effetti un problema mal posto. Per capirlo si può andare a vedere cosa accade all'interno degli algoritmi di apprendimento automatico usati per far «ragionare» una macchina.

I metodi di apprendimento automatico si dividono in tre grandi categorie:

a) Apprendimento supervisionato

Alla macchina vengono posti tanti esempi positivi e negativi di ciò che la macchina dovrebbe imparare. Se lo scopo è riconoscere volti umani, gli forniranno fotografie che mostrano volti umani come esempi positivi e immagini con altri soggetti come esempi negativi.

Dopo una fase di «addestramento», l'algoritmo è in grado di generalizzare, cioè di dare una risposta sensata di fronte a un nuovo campione mai analizzato prima (una nuova fotografia). Già da anni questi sistemi vengono impiegati con successo per riconoscere automaticamente cifre dei codici postali scritti a mano, o il riconoscimento di disegni.

B) Apprendimento non supervisionato

In questo caso non esistono esempi completi, ma solo dati da analizzare. Normalmente algoritmi di questo tipo vengono usati per ricercare delle regolarità (o irregolarità) nascoste nei dati, o per dividere automaticamente i dati in categorie.

Algoritmi di questo tipo potrebbero ad esempio imparare le stagioni analizzando come i valori di temperatura in un dato luogo cambino ciclicamente durante il corso degli anni.

γ) Apprendimento per rinforzo

Questo tipo di algoritmi basano sul concetto di azione e ricompensa. Ogni azione o gruppo di azioni che la macchina compie è associata ad una valutazione delle sue prestazioni (la ricompensa) e dopo un certo numero di fasi esplorative il sistema è in grado di sfruttare quanto appreso per scegliere azioni che massimizzino le ricompense future.

Algoritmi di questo tipo sono stati impiegati per sviluppare intelligenze artificiali in grado di giocare a *scacchi*, *Go* e ad alcuni *videogiochi* ad un livello pari o superiore a quello umano. Per ottenere questi risultati, l'algoritmo viene fatto giocare contro se stesso così tante volte da far sì che memorizzi la sequenza di mosse o di comandi che hanno più probabilità di vittoria.

Queste tre tipologie di apprendimento sono chiaramente ispirate ai modi che abbiamo per imparare (capire da esempi, vedere regolarità, prova ed errore), ma sono realizzate applicando formule matematiche che come obiettivo hanno sempre quello di ridurre al minimo l'errore rispetto a un risultato atteso.

Ha fatto scalpore *l'algoritmo* di Facebook in grado di riconoscere i volti delle persone con performance talvolta superiori a quelle di un essere umano, tuttavia non si può certo dire che l'algoritmo sappia cos'è un volto, semplicemente ha svolto in maniera efficiente ciò che gli è stato chiesto di fare: associazione tra foto e nomi, come che gli è stato impartito durante l'apprendimento.

Una questione aperta

Sono in molti a chiedersi se il progressivo automatizzarsi delle mansioni umane non abbia un impatto negativo sulla società, perché toglierebbe posti di lavoro. Fermo restando che è difficile fare previsioni a lungo termine sugli effetti di un uso di massa di *robot* avanzati, possiamo però guardare a quanto è successo in passato quando una tecnologia ha decretato l'estinzione di alcuni lavori.

L'automobile ha rimpiazzato il cavallo, riducendo drasticamente il numero di maniscalchi e allevatori, ma ha portato alla nascita di nuove professioni: meccanici, gommisti, ricambisti.

L'uso dei *robot*, che sono stati concepiti per sollevare l'uomo da lavori di fatica e ripetitivi, auspicabilmente porterebbe ad uno spostamento più che ad una riduzione dei posti di lavoro, in favore di nuove professioni che esaltino maggiormente le capacità creative e intellettive di chi lavora.

Oggi viviamo in un mondo dinamico, in cui tecnologie sempre nuove aprono molteplici orizzonti di sviluppo futuro, come per le automobili si è passati da sistemi completamente meccanici a sistemi ibridi elettro-meccanici (*meccatronici*) che rendono

possibile la guida autonoma, allo stesso modo lo sviluppo di nuovi sensori, renderà i robot capaci di rilevare e gestire informazioni sempre più sofisticate e complesse.

È difficile prevedere come si svilupperà la robotica, come utilizzeremo i *robot* e quali potenzialità ci sono ancora da esplorare. Allo stesso modo con l'avvento degli *smartphone* abbiamo scoperto tutte le potenzialità della connessione in rete, prima confinato alle case e agli uffici e modificato le nostre esigenze ed aspettative nei confronti del cellulare.

Si potrebbe affermare che in quanto tecnologia, la robotica di per sé sia solo uno strumento e che non sia necessariamente buona o cattiva, e di conseguenza ogni possibilità debba essere esplorata. Questo giudizio rischia di distrarci dalle vere ragioni che ci portano a sviluppare una certa tecnologia e dunque dall'uso che ne deriva.

Dato il suo profondo impatto sulla vita di ciascuno di noi, occorre essere consapevoli del bene che la robotica potenzialmente offre in quanto al servizio dell'uomo, dell'uso che se ne intende fare e dei limiti che questo pone.

Senza questo punto critico ogni tecnologia diventa essenzialmente autoreferenziale, come scriveva C.S. Lewis in un suo romanzo in cui immagina uno scontro tra due schieramenti, tra chi vuole rendere il mondo «perfetto» (dal latino *perfectus*, «morto») e chi invece accoglie la realtà con tutte le imperfezioni e cerca faticosamente di amarla: «Non sono sicuro di capire...Lo capirà presto, se veramente le si darà la mano libera, la scienza potrà impadronirsi della razza umana e rimetterla in funzione rendendo l'uomo un animale davvero efficiente» (C.S. Lewis, *Quell'orribile Forza*, 1945).

Avendo un diretto impatto sulla vita quotidiana, la robotica apre molte questioni e domande a cui dobbiamo e dovremo provare a dare una risposta, sia che ci accostiamo ad essa in qualità di sviluppatori (*makers*), sia come utilizzatori (*users*).

Da questo punto di vista è interessante leggere quello che ha scritto Papa Francesco nell'enciclica «*Laudato si*», all'inizio del capitolo terzo intitolato «La tecnologia: creatività e potere»:

«È giusto rallegrarsi per questi progressi ed entusiasinarsi di fronte alle ampie possibilità che ci aprono queste continue novità, perché «la scienza e la tecnologia sono un prodotto meraviglioso della creatività umana che è un dono di Dio». La trasformazione della natura a fini di utilità è una caratteristica del genere umano fin dai suoi inizi, e in tal modo la tecnica «esprime la tensione dell'animo umano verso il graduale superamento di certi condizionamenti materiali». La tecnologia ha posto rimedio a innumerevoli mali che affliggevano e limitavano l'essere umano. La tecnologia, ben orientata, è in grado non solo di produrre cose realmente preziose per migliorare la qualità della vita dell'essere umano, a partire dagli oggetti di uso domestico fino ai grandi mezzi di trasporto, ai ponti, agli edifici, agli spazi pubblici...

Tuttavia non possiamo ignorare che le potenzialità che abbiamo acquisito ci offrono un tremendo potere. Anzi, danno a coloro che detengono la conoscenza e soprattutto il potere economico per sfruttarla un dominio impressionante sull'insieme del genere umano e del mondo intero... Si tende a credere che «ogni acquisto di potenza sia semplicemente progresso, accrescimento di sicurezza, di utilità, di benessere, di forza vitale, di pienezza di valori», come se la realtà, il bene e la verità sbocciassero spontaneamente dal potere stesso della tecnologia e dell'economia.

Il fatto è che «l'uomo moderno non è stato educato al retto uso della potenza», perché l'immensa crescita tecnologica non è stata accompagnata da uno sviluppo dell'essere umano per quanto riguarda la responsabilità, i valori e la coscienza. Ogni epoca tende a sviluppare una scarsa autocoscienza dei propri limiti.

Per tale motivo è possibile che oggi l'umanità non avverta la serietà delle sfide che le si presentano, e «la possibilità dell'uomo di usare male della sua potenza è in continuo aumento» quando «non esistono norme di libertà, ma solo pretese necessità di utilità e di sicurezza»» (Papa Francesco, *Laudato si*, 2015).

Francesca Negrello

(Laureata in Ingegneria Meccanica presso l'Università degli Studi di Genova. Attualmente sta svolgendo il dottorato di ricerca all'Istituto Italiano di Tecnologia nel dipartimento di Advanced Robotics)

Marco Camurri

(Ha conseguito la laurea magistrale in Ingegneria Informatica presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Attualmente è studente di dottorato in Bioingegneria e Robotica presso il Dynamic Legged System Lab del dipartimento di Advanced Robotics all'Istituto Italiano di Tecnologia)

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

LE MANI SULLA TRAMA DELLA VITA con il *GENOME EDITING*?

di Carlo Soave*

* già Professore Ordinario
di Fisiologia Vegetale
presso l'Università degli
Studi di Milano

Avete inviato il vostro manoscritto di circa 25000 parole all'editore che lo sta leggendo per decidere eventualmente di pubblicarlo. Ci sono però degli «errori»: per esempio a pagina 25, alla quarta riga, invece di «notte» c'è scritto «nolte» e l'editore si affretta a correggere. Ma anche a pagina 48, quando parlate dei fossili siete imprecisi e l'editore vi consiglia di riscrivere la frase, e poi quella parola a pagina 82 è francamente sbagliata: rende la frase incomprensibile.

Che cosa sta succedendo al vostro manoscritto? Sta subendo una revisione editoriale. È proprio quello che il *genome editing*, il nuovo metodo per introdurre «correzioni» nel DNA, si propone di fare su quel libro che è il genoma, cioè l'insieme delle molecole di DNA che ogni organismo vivente possiede.

Non si deve tuttavia pensare che il DNA subisca modificazioni solo con il *genome editing*: da sempre, fin da quando sono esistite le prime cellule sulla Terra, il DNA ha subito modificazioni.

Per esempio, quando una cellula si divide, il suo DNA viene duplicato e la sequenza nucleotidica è replicata: nel batterio *E. coli* la copiatura procede a un ritmo di circa duemila nucleotidi al secondo e l'enzima deputato alla copiatura è abbastanza accurato introducendo in media un errore ogni centomila nucleotidi.

Ci sono però sistemi di correzione degli errori, basati su proteine che eliminano il nucleotide «sbagliato» sostituendolo con quello «giusto», in modo tale che la frequenza finale di errore è in media di un errore ogni miliardo di nucleotidi. Anche fattori ambientali, radiazioni UV, raggi X, agenti chimici, possono introdurre mutazioni nel DNA. In questo caso però la cellula ha più di un sistema di sorveglianza di eventuali danni e sistemi di riparo delle mutazioni.

Il genoma tuttavia non cambia solo per «mutazione», ma anche tramite trasposizioni, trasferimento orizzontale di DNA da organismo a organismo. In tempi in cui si parla di organismi geneticamente modificati (OGM), cioè della possibilità da parte dei biotecnologi di modificare in laboratorio il genoma di un organismo per inserimento di geni provenienti da specie diverse, ci possiamo chiedere se ciò avviene spontaneamente anche in natura.

Un buon esempio ci viene offerto dai batteri. Tutti sappiamo che i batteri possono diventare resistenti agli antibiotici: la resistenza però non è acquisita in genere attraverso mutazioni nel DNA del batterio, ma mediante acquisizione da altri microrganismi di interi segmenti di DNA che portano informazioni multiple per inattivare gli antibiotici.

Si tratta di un trasferimento orizzontale (non quindi da progenitore a prole) di informazione, tale e quale quello che operano i biotecnologi nel produrre gli OGM; un



trasferimento frequente sia nei microorganismi sia nelle cellule superiori anche tra organismi molto diversi tra loro (per esempio trasferimento da batteri a piante). D'altra parte è ben noto che i virus quando infettano le cellule possono integrare il loro materiale genetico nel genoma dell'ospite, inserendo quindi nuova informazione: nel genoma dei mammiferi, uomo compreso, sono presenti numerose tracce di sequenze virali integrate nel genoma a seguito di infezioni avvenute nei progenitori.

L'acquisizione di nuova informazione genetica segue anche altre strade. Tutti i frumenti coltivati per esempio, originano da due eventi spontanei di ibridazione interspecifica tra specie selvatiche con evidentissime modificazioni della forma e anche della produttività degli ibridi risultanti. Ma tutte le piante e gli animali che noi coltiviamo e alleviamo non sono «naturali» nel senso che non potrebbero sopravvivere senza le cure dell'uomo e sono tutti geneticamente modificati in modo da soddisfare le nostre necessità.

Che cosa c'è di diverso allora tra le mutazioni genetiche spontanee o indotte dall'uomo tramite trattamenti mutageni e il *genome editing*?

La differenza fondamentale sta nel fatto che le mutazioni spontanee o indotte provocano alterazioni casuali nella sequenza del DNA e quindi l'esito non è predicibile a priori: bisognerà selezionare nella progenie quegli individui che a causa della mutazione presentano caratteri utili per noi.

Il *genome editing* invece opera come un correttore di bozze: modifica il DNA nei geni che vogliamo, inattivandoli, potenziandone l'espressione o introducendo nuovi geni e lo fa non a caso ma in modo preciso e proprio secondo il nostro volere.

Una storia cominciata milioni di anni fa

Il *genome editing* ha delle radici profondamente piantate nella storia evolutiva degli organismi viventi. Tutti gli organismi viventi, dai batteri più semplici agli organismi più complessi, sono continuamente esposti all'invasione di materiale genetico, frammenti di DNA, portati da virus, plasmidi, trasposoni che, non essendo in grado di replicarsi autonomamente, devono assolutamente «infettare» una cellula ospite per proliferare. Ovviamente l'ospite ha sviluppato diverse barriere per difendersi da questi invasori, attivando una serie di meccanismi anti-invasione che a sua volta l'invasore cerca di superare. L'esito di questa battaglia è incerto: a volte vince l'invasore e la cellula ospite è distrutta, a volte è distrutto l'invasore, a volte la battaglia finisce in pari e parte del materiale genetico dell'invasore è integrato nel genoma dell'ospite.

Uno dei sistemi di difesa dei batteri, che risulterà decisivo per lo sviluppo del *genome editing*, è costituito da:

- una serie di segmenti di DNA con sequenza nucleotidica ripetuta intervallati da segmenti con sequenza unica presenti nella gran maggioranza dei genomi dei batteri e denominato con l'acronimo CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*);
- una sequenza di DNA, adiacente a CRISPR, che codifica per una proteina capace di tagliare i due filamenti di DNA, cioè una nucleasi denominata Cas (*CRISPR associated*) e che è anche in grado di legarsi a molecole di RNA.

CRISPR-Cas è uno dei sistemi immunitari dei batteri e sembra strano scoprire che anche i batteri possiedono dei sistemi immunitari, ma quelle sequenze uniche intersperse tra gli elementi ripetuti del sistema CRISPR sono frammenti di sequenze virali integrate nel genoma dell'ospite, conseguenza di passate invasioni di virus che i progenitori degli attuali batteri hanno subito e combattuto; un po' come la memoria di passate infezioni che il nostro sistema immunitario conserva nelle cellule deputate alla produzione di anticorpi.

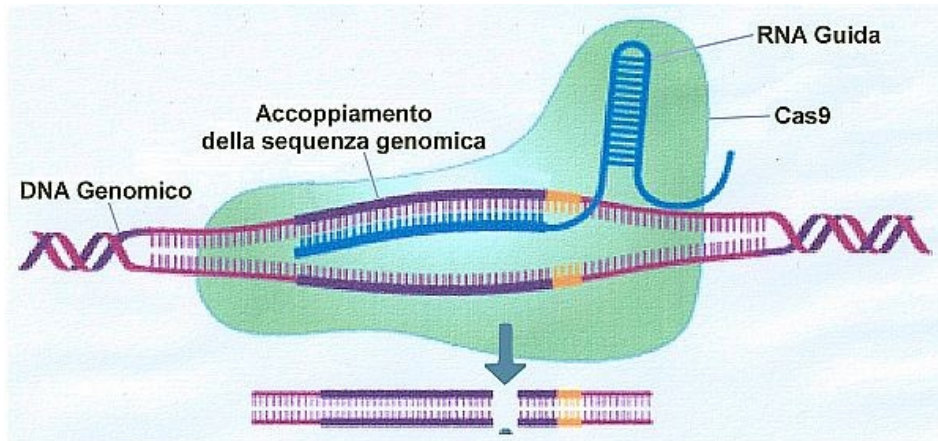
In seguito a un nuovo attacco virale, quella sequenza di DNA interspersa nel CRISPR corrispondente al virus infettante è trascritta, l'RNA si lega alla proteina Cas e la guida sulla sequenza complementare del virus dove la nucleasi può agire degradando il DNA virale.

Come abbiamo imitato la natura per i nostri scopi

I due componenti essenziali per il *genome editing* sono la nucleasi in grado di tagliare contemporaneamente i due filamenti del DNA e l'RNA associato ad essa. Di nucleasi di questo tipo ne esistono varie in natura e possono essere estratte e purificate.

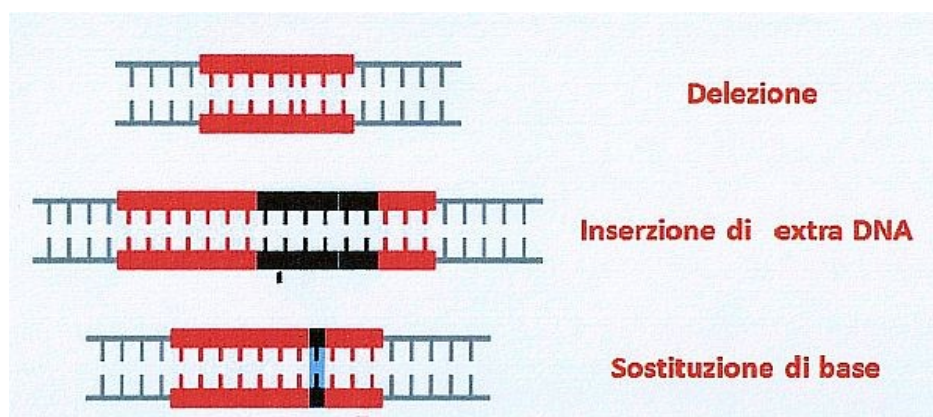
Il frammento di RNA può essere invece sintetizzato per via chimica con una sequenza nucleotidica scelta da noi.

A questo punto disponiamo di un complesso costituito da una forbice molecolare (la nucleasi) associata a un RNA che, una volta iniettato in una cellula, guida la forbice sulla sequenza di DNA complementare alla sequenza del nostro RNA, provocando il taglio della doppia elica.



Tutte le cellule invariabilmente riparano le rotture nel DNA. Una volta che la nucleasi ha tagliato i due filamenti del DNA, il meccanismo di riparo si attiva e può operare essenzialmente in due modi alternativi:

- il taglio può essere riparato riavvicinando e legando tra loro i nucleotidi terminali in un processo chiamato *Non Homologous End-Joining* (NHEJ) che frequentemente genera errori tramite inserzione di un nucleotide in più o tramite perdita (delezione) di qualche nucleotide in modo che la sequenza originaria non è più ristabilita;
- il riparo avviene in presenza di un segmento di DNA stampo introdotto assieme al complesso Cas che viene ricopiato e inserito nel sito di taglio (*Homology Directed Repair*, HDR). In questo caso la sequenza originaria del DNA viene modificata in parte o sostituita del tutto.



È evidente che nel primo caso il *genome editing* può essere considerato a tutti gli effetti un metodo di mutagenesi simile alla mutagenesi spontanea o indotta, con la differenza sostanziale però che la mutazione avviene in un unico sito e proprio nella sequenza del gene che noi vogliamo modificare, mentre con la mutagenesi spontanea o indotta si generano mutazioni multiple in siti casuali. L'esito generalmente è quello di inattivare un gene.

Nel secondo caso invece, con il *genome editing* si ottengono mutazioni precise e volute, che possono consistere in specifiche sostituzioni di nucleotidi, oppure inserzione di interi nuovi segmenti di DNA, in funzione della sequenza che viene usata come

stampo. In questo caso, il *genome editing* può essere considerato un metodo di mutagenesi biologica mirata e predeterminata: può portare a generare per uno specifico gene una variante già esistente in natura oppure una nuova variante ma, comunque, con caratteristiche predefinite dallo sperimentatore, oppure generare un nuovo gene.

In ambedue i casi, comunque, non si potrà distinguere se la mutazione ottenuta è una mutazione casuale, avvenuta spontaneamente, oppure una nuova varietà di una specie preesistente in natura, o una mutazione creata in laboratorio: infatti nell'organismo modificato non resta traccia della nucleasi e del RNA guida che vengono rapidamente degradati.

Benvenuti nello zoo del *genome editing*

Da più di diecimila anni l'uomo manipola geneticamente le piante per trarne cibo e per far ciò ha utilizzato la selezione massale, l'incrocio, la mutagenesi indotta e, dalla fine del secolo scorso, la transgenesi che ha dato origine agli OGM, con tutte le polemiche che ne sono derivate. Ma ora con il *genome editing* si spalancano le porte a infinite manipolazioni per resistenza a malattie, alla siccità, alle alte e basse temperature, tolleranza a erbicidi, miglior valore nutrizionale, nuove fragranze e, quel che più conta, senza che si possa distinguere queste nuove varietà dalle varietà «naturali».

E per gli animali? C'è solo l'imbarazzo della scelta: mucche da latte senza corna per inattivazione del gene responsabile della loro crescita così non si fanno del male tra loro e si evita di tagliare le corna ai vitelli, procedura costosa e dolorosa; capre con il pelo più lungo in modo che possano meglio resistere al freddo e possano prosperare in climi più freddi; per chi ama il maiale o il cane arrosto, maiali e *beagle* super muscolosi; e infine, perché no, anche un mini maialino da compagnia?



E con l'uomo?

Le potenzialità del *genome editing* di correggere quelle mutazioni di singoli geni che causano malattie nell'uomo sono apparse subito evidenti. Gli studi sono stati condotti su cellule umane estratte da soggetti affetti da malattie genetiche, modificate nel gene alterato ed eventualmente reintrodotte nel paziente.

Alla fine del 2013 un gruppo di ricerca olandese prelevò alcune cellule staminali intestinali da due bambini affetti da fibrosi cistica, una malattia dovuta all'alterazione

di un singolo gene. Le cellule staminali furono coltivate *in vitro* e trasformate con la versione sana del gene con la tecnica del *genome editing*.

Il successo fu impressionante: il gene alterato fu corretto in più di metà delle cellule trattate. Altre malattie genetiche sono state prese in considerazione, come l'anemia falciforme, la tirosinemia di tipo I e altre alterazioni metaboliche su base genetica, ma anche modifiche di un recettore posto sulla superficie di cellule immunitarie che rendono l'individuo resistente al virus HIV.

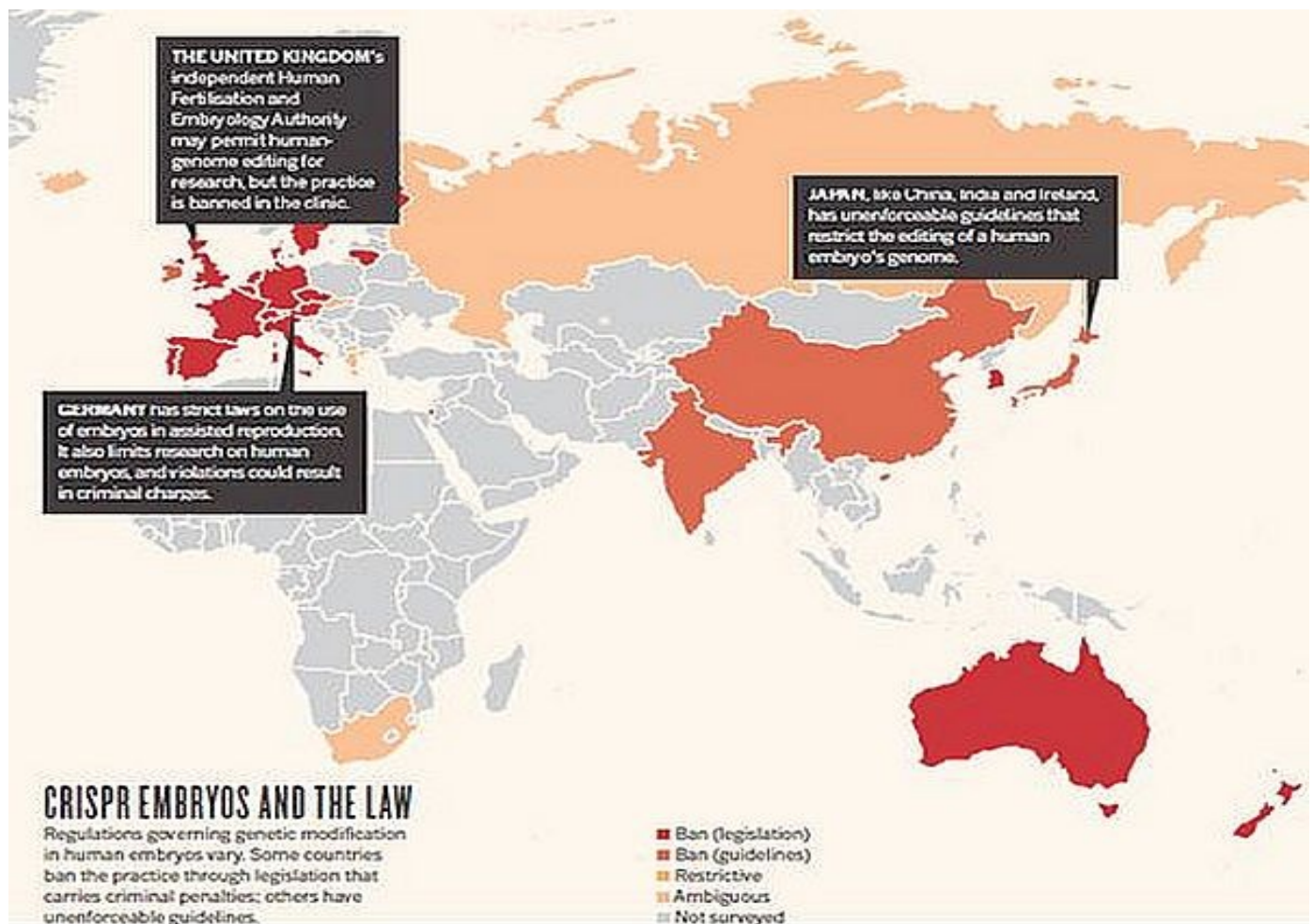
Ma, quando nel maggio 2015 un gruppo di ricerca cinese ha pubblicato il risultato di un esperimento di *genome editing* su embrioni umani non vitali, la comunità scientifica non ha potuto non interrogarsi sulle conseguenze di applicare l'*editing* agli embrioni umani o alle cellule germinali.

Infatti, quando le modifiche al genoma sono eseguite sulle cellule non riproduttive, queste si manifestano nella persona trattata e non sono trasmesse alla progenie.

Ma se l'*editing* è compiuto sulle cellule riproduttive o su embrioni a uno stadio in cui le cellule germinali non si sono ancora differenziate, le modificazioni saranno trasmesse alle generazioni future.

Il *National Institute of Health* (NIH) americano, per bocca del suo direttore Francis Collins ha preso posizione: «Il concetto di alterare la linea germinale umana per scopi clinici è stata dibattuto molte volte da molti punti di vista e, quasi universalmente, si è concluso che questa linea non deve essere superata».

Ma non tutti sono dello stesso parere e anche le legislazioni in merito alle modificazioni genetiche degli embrioni umani sono variabili tra le nazioni del mondo e, anche quando esistono restrizioni, esse sono facilmente aggirabili o non sono applicate.



Nazioni dove il genome editing su embrioni umani è rigorosamente vietato per legge o esistono solo restrizioni più o meno stringenti.

Proprio per le implicazioni etiche e sociali del *genome editing*, le Accademie nazionali delle Scienze americana, inglese e cinese hanno promosso un *summit* internazionale per discutere l'uso appropriato di questa tecnica in campo agricolo, ambientale, ma soprattutto sull'*editing* della linea germinale umana per il suo potenziale di radicare le malattie genetiche, ma anche di alterare la natura umana.

Lo *Human Gene Editing Summit*, tenutosi dal 1 al 3 dicembre 2015 a Washington alla presenza di più di quattrocento tra scienziati, esperti di bioetica e storici provenienti da venti paesi di sei continenti, è stato aperto da David Baltimore (1938-...), premio Nobel per la medicina nel 1975 che nella sua dichiarazione di apertura ricordava che Aldous Huxley (1894-1963), nel suo libro *Brave New World*, immaginava una società costruita selezionando geneticamente le persone per svolgere specifici ruoli nella comunità.

«Dobbiamo fare attenzione che le nuove e potenti tecniche di manipolazione genetica della natura della popolazione umana non rendano possibile un mondo siffatto. Oggi il *genome editing* è ancora nella sua infanzia, ma è prevedibile che la pressione per utilizzarlo crescerà sempre di più col tempo e le decisioni e azioni che prenderemo oggi guideranno il suo uso nel futuro. Come vogliamo usare e dove vogliamo andare con questa nuova capacità?».

Il vertice internazionale si è concluso con la raccomandazione che l'alterazione genetica delle linee germinali umane per ora rimanga confinata alle ricerche di laboratorio, che devono però proseguire, con le dovute cautele e nel contesto di una discussione comune su come regolarle, in vista degli importanti progressi per la salute che potrebbero derivarne.

Ma le cose corrono veloci e presto anche il *genome editing* sarà superato. Nel 2004 si concludeva lo *Human Genome Project -read*, il progetto che aveva come obiettivo sequenziare (leggere) l'intero genoma umano. Ora (giugno 2016) si affaccia il nuovo progetto, lo *Human Genome Project-write*, cioè sintetizzare in laboratorio (scrivere) un intero genoma umano. Il progetto prevede un investimento di cento milioni di dollari e un tempo di dieci anni per completarlo.

Ma per che scopo? Per capire meglio il funzionamento dell'organismo umano dicono i proponenti: certamente, ma anche per costruire il superuomo, l'uomo esente da imperfezioni, esente dai mali della vecchiaia e, perché no, magari se non proprio immortale, quasi immortale.

Allora forse è opportuno ricordare quanto il coro chiedeva a Prometeo nel *Prometeo incatenato* di Eschilo scritto quasi duemilacinquecento anni fa:

«Coro: *Nei doni concessi, non sei magari andato oltre?*

Prometeo: *Sì, ho impedito agli uomini di vedere la loro sorte mortale.*

Coro: *Che tipo di farmaco hai scovato per questa malattia?*

Prometeo: *Ho posto in loro cieche speranze».*

Ma è proprio questo che desideriamo?

Perché «A cosa servirebbe una tecnica capace di renderci immortali, se poi non sapessimo quale uso fare dell'immortalità» (Platone, *Eutidemo*).

Carlo Soave

(già Ordinario di Fisiologia Vegetale presso l'Università degli Studi di Milano)

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

CON LA VOCE DELLA POESIA

di Davide Rondoni*

* Direttore del Centro di poesia contemporanea all'Università di Bologna e direttore della rivista di poesia e arte *ClanDestino*

La raccolta di contributi che accompagnano l'iniziativa "WHAT. What's Human About Technology?" e ne sviluppano le principali tematiche, si chiude con le parole di un poeta, che vive come tutti immerso nell'ambiente tecnologico e raccoglie un particolare riverbero delle sfide e degli interrogativi posti dall'avanzare impetuoso dei tecnosistemi.

L'argine scuro d'erbe nell'aria lucente,
l'acqua, i cieli dopo il vento, magnetici di stelle
tutto era azzurro cupo, era quasi verde -
Vedi, nessun computer lo saprà mai...
E tu sfiorando l'erba scomposta: ma cosa?
La macchina - t'ho fermato il polso, sfilavi uno stelo -
non sente il doppio, il tempo, ci pensi a cosa perde...
Invecchia e non si sente invecchiare
e in nulla, mai, ringiovanire.

Non sente nemmeno il timore,
dicesti già avanti sulla riva, ridevi forse ho capito male.
Venne il bacio, uno solo e leggero sul fiume -
niente lo avrebbe motivato mai
nessun circuito o apprendimento neurale
solo quel grande strano splendore -
poi tu o la tua ombra m'ha fissato serissima:
dimmi se lo sai, macchine non siamo, dimmi
non lo saremo mai, vero ?

Proteggerò dall'epoca belva
la tua giovinezza rara, dalla selva di fantasmi,
guru hi-tech, lievitori di cristalli, boss
in t-shirt. Volevo dirti così, fissai
nelle tue pupille lo scarto del lupo nero -
ho mormorato: sono un pazzo, un bambino
scrivo poesie, vieni dai miei amici, in città ho aperto
un giardino...

Intanto era scesa la sera, davanti a noi
non si vedeva quasi il sentiero.

Davide Rondoni

(Direttore del Centro di poesia contemporanea all'Università di Bologna e direttore della rivista di poesia e arte ClanDestino)

Questa poesia è un'anticipazione tratta dall'opera "La natura del bastardo", dello stesso autore, in uscita prossimamente da Mondadori.

[Torna all'Indice dell'e-book](#)

WHAT – What's Human About Technology?

è stato realizzato grazie a:

Organizzatori

Associazione Euresis e *Camplus - Fondazione CEUR*
per la XXXVII edizione del *Meeting per l'Amicizia fra i Popoli*

Curatori

Tommaso Bellini, *Università degli Studi di Milano*
Marco Bersanelli, *Università degli Studi di Milano*
Paolo Cappelletti, *Associazione Euresis*
Benedetta Cappellini, *Associazione Euresis*
Maurizio Carvelli, *Fondazione CEUR*
Mario Gargantini, *Emmeciquadro*
Francesco Mambretti, *studente di Fisica*
Davide Rondoni, *scrittore*
Nicola Sabatini, *Fondazione CEUR*
Elio Sindoni, *Fondazione CEUR*
Carlo Soave, *Università degli Studi di Milano*
Alessandro Vato, *Istituto Italiano di Tecnologia*

Collaboratori

Marco Beghi, *Politecnico di Milano*
Mario Boioli, *fisico*
Marco Camurri, *Istituto Italiano di Tecnologia*
Piero Morandini, *Università degli Studi di Milano*
Anna Maria Naggi, *Istituto G. Ronzoni*
Francesca Negrello, *Istituto Italiano di Tecnologia*
Sergio Riva, *Istituto di Chimica del Riconoscimento Molecolare, CNR*
Carlo Sozzi, *Istituto di Fisica del Plasma, CNR*
Gianni Tempra, *biologo*

Maria Pozzi, *studentessa di Biologia*
Simone Dotti, Monica Vincenzi, Andrea Zannoni, *studenti di Fisica*
Marco Felice Montaruli, *studente di Ingegneria Aerospaziale al Politecnico di Milano*
Guido Giunchi, *studente di Ingegneria Elettronica*

Collaboratori

Giacomo Negri, Marco Filippo Salomone, *studenti di Ingegneria Energetica*

Dennis Campagna, *studente di Ingegneria Informatica*

Francesco Dal Corso, *studente di Ingegneria Meccanica*

Gabriele Restuccia, *studente di Ingegneria Meccanica*

Allestimento

a cura di Fondazione Meeting per l'Amicizia fra i Popoli

Progetto architettonico

Gianluca Lomarco

Progetto Grafico

Sara Mulone

Ha collaborato: Lorenzo Morabito

Video

Realizzazione: David Segarra

Storyboard: Nicola Sabatini

Voci: Stefania Pepe, Marco De Domenico

Catalogo on line

[Speciale n. 25 di Emmeciquadro](#)

www.emmeciquadro.eu

a cura di

Elio Sindoni

Mario Gargantini

Roberto Sanvito

Adalberto Porrino

Si ringraziano

IIT – Istituto Italiano di Tecnologia

Fuji Film

Euronics

Giorgio Caironi

Amedeo Cedro

Oliviero Pomponio

Massimo Ragazzi

Sergio Riva

[Torna all'Indice dell'e-book](#)