

Giovedì **Scienza**

32^a edizione

la scienza in diretta
settimana per settimana

GIOVEDÌ 1 FEBBRAIO 2018

DALL'INVENZIONE DELLA CARTA ALL'iPhone

Conoscere il passato per immaginare il futuro

Gianfranco Pacchioni

È Prorettore all'Università di Milano Bicocca dove è stato direttore del Dipartimento di Scienza dei materiali. Per le sue ricerche ha ricevuto numerosi premi internazionali di prestigio, fra cui l'Humboldt Award, la Medaglia Pascal della European Academy of Sciences. Ha tra l'altro pubblicato "Idee per diventare scienziato dei materiali" (2006), "Quanto è piccolo il mondo" (2008), entrambi con Zanichelli, e "Scienza, quo vadis?" (2017) con Il Mulino.

PER SAPERNE DI PIÙ

G. Pacchioni, *Quanto è piccolo il mondo. Sorprese e speranze dalle nanotecnologie* Zanichelli, Bologna 2008.

D. Narducci, *Cosa sono le nanotecnologie*, Sironi Editore, Milano 2008.

G. Pacchioni, *Nanotecnologie! Una rivoluzione già iniziata*, Scienza Express, Bologna 2017.

WEB

Qui trovate visibile e scaricabile un libretto sulla nanotecnologia pubblicato dalla Commissione Europea e prodotto in Germania dal Ministero federale dell'Istruzione e della ricerca (BMBF): goo.gl/pgdZXu

Sezione formazione e divulgazione della Veneto nanotech che coordina le attività del distretto hi-tech per le nanotecnologie applicate ai materiali: goo.gl/BeFXvs

In inglese sul sito americano Nano.gov della National Nanotechnology Initiative - Che cos'è la nanotecnologia: goo.gl/9sr7eT

DALL'INVENZIONE DELLA CARTA ALL'IPHONE

Come nuovi materiali e nanotecnologie hanno cambiato il mondo

C'è chi ha visto un parallelo tra i cambiamenti sociali e comportamentali associati alla nascita di internet e quelli prodotti nel quindicesimo secolo dall'introduzione della stampa a caratteri mobili da parte di Johannes Gutenberg. Così come la stampa ha permesso la rapida circolazione dei libri e quindi del sapere, cui hanno fatto seguito movimenti politici e sociali come l'illuminismo e la rivoluzione industriale, così internet è l'inizio di una trasformazione profonda dei nostri usi, costumi e modelli culturali. Quello che è meno noto è che sia la stampa a caratteri mobili sia internet sono basati su tecnologie e materiali innovativi: la carta e alcune leghe metalliche all'epoca di Gutenberg, i semiconduttori, i materiali magnetici, il laser e le fibre ottiche nei giorni nostri.

Internet, la rivoluzione moderna

Internet rappresenta una rivoluzione che può a buona ragione essere affiancata a quella dalla stampa. Quest'ultima ha permesso un salto di qualità nell'accesso all'informazione e alla conoscenza, internet ha aperto scenari inimmaginabili anche solo pochi anni fa, rendendo disponibili con un click quantità impressionanti di informazione e contribuendo alla creazione di quel villaggio globale che è oggi il mondo.

Il primo *www* (web-server) fu messo in funzione nel 1992 al CERN da Tim Berners-Lee e Robert Cailliau (ospite di *GiovedìScienza* nel 2004 n.d.r.).

Così come l'invenzione di Gutenberg si basava su alcuni materiali resisi disponibili, internet si fonda su materiali e tecnologie di nuova e generazione, anche e soprattutto nanotecnologie! Per capire qual è la portata della rivoluzione nanotecnologica, basta pensare a cose che già sono parte del nostro quotidiano. Le nanotecnologie sono entrate nelle nostre case e nei nostri uffici, nelle nostre borse o in tasca, in silenzio, senza fragore. Così come carta e leghe metalliche sono state alla base della stampa, così internet parte da quattro classi di materiali fondamentali che hanno stravolto gli ultimi cinquanta anni: il transistor e i semiconduttori, i supporti magnetici, i materiali luminescenti da cui discende il laser, e le fibre ottiche (materiali trasparenti).

La nascita delle nanotecnologie

La nanotecnologia ha una data di nascita precisa: il 29 dicembre del 1959 il famoso fisico americano Richard Feynman tenne una lezione al Caltech che oggi viene considerata come l'inizio dell'era delle nanotecnologie. In una presentazione futuristica, Feynman pose l'attenzione sulle grandi potenzialità legate alla manipolazione della materia sulla scala degli atomi e delle molecole. "Il titolo di questa lezione – disse Feynman - è *C'è molto spazio giù in fondo*, non semplicemente *C'è spazio giù in fondo*. Ciò che ho dimostrato è che c'è spazio, ossia che si possono ridurre le dimensioni degli oggetti in modo pratico. Ora voglio dimostrare che in realtà c'è tantissimo spazio. Non discuterò come fare tutto ciò, ma solo del fatto che è possibile sulla base delle leggi fisiche che conosciamo sfruttare a fondo tutto questo spazio". Con questo discorso puntò l'attenzione sul fatto che il potenziale connesso con il controllo di operazioni su scala nanometrica è enorme, e che non ci sono leggi fisiche che limitino in linea di principio questo potenziale. D'altra parte, Feynman era perfettamente consapevole che atomi e molecole, con dimensioni anche ben sotto al nanometro, sono oggetti estremamente piccoli e che una loro manipolazione richiede di sviluppare tecnologie molto sofisticate, non disponibili nel 1959. Ci vollero alcuni decenni prima di fare dei reali progressi in questa direzione.

Perché c'è un potenziale così grande nel manipolare la materia su scala nanometrica?

Per meglio comprendere quest'aspetto consideriamo un numero molto familiare ai chimici, le cui dimensioni però sono molto difficili da concepire e immaginare per la nostra esperienza quotidiana. Mi riferisco al numero di Avogadro, ossia il numero di molecole contenute in una quantità macroscopica di sostanza, la mole, che corrisponde a un certo numero di grammi della sostanza stessa. La stima più accurata del numero di Avogadro fu fatta da Einstein nel 1911: 6.0221367×10^{23} . Un numero enorme, seicentomila miliardi di miliardi, difficile da immaginare. Per dare un'idea, si stima che su tutta la terra vivano circa dieci milioni di miliardi di formiche. Per fare eguagliare il numero di Avogadro in formiche, ci vorrebbero 60 milioni di pianeti come la Terra. Questi numeri ci raccontano non solo che c'è molto posto nel nano mondo, per usare l'espressione di Feynman, ma anche che c'è un numero enorme di oggetti. Se saremo in grado di far fare a questi oggetti compiti precisi (come immagazzinare o elaborare informazione) si apriranno opportunità incredibili.

La scoperta dei fullereni

Fu soltanto tra il 1980 e il 1990 che alcune scoperte fondamentali aprirono la via alla rivoluzione che oggi va sotto il nome di nanotecnologie. Una di queste scoperte avvenne per caso nel 1985 nei laboratori di Richard Smalley, oggi considerato come uno dei padri di questo campo: stava studiando cluster gassosi, piccoli aggregati di atomi prodotti con uno strumento sofisticato appositamente progettato dal suo gruppo. I

cluster rappresentano una fase intermedia di aggregazione della materia, più grandi degli atomi ma più piccoli e quindi diversi dai solidi e liquidi, e presentano pertanto proprietà inusuali e molto interessanti. Possono contenere da pochi a qualche migliaia di atomi, e le loro proprietà variano con le dimensioni delle particelle. Durante una visita al gruppo di Smalley a Huston, Texas, lo scienziato britannico Harold Kroto, (ospite a GiovedìScienza nel 2008 e nel 2010 n.d.r.) decise di studiare cluster di carbonio con lo strumento di Smalley. Utilizzando uno spettrometro di massa, l'esperimento mostrò la formazione di un aggregato particolarmente stabile contenente esattamente 60 atomi di carbonio.

I due cercarono in particolare di immaginare quale struttura avrebbero dovuto formare gli atomi di carbonio per conferire stabilità al sistema. S'ispirarono al lavoro di un architetto americano, Buckminster Fuller, molto noto per le cupole geodetiche, o tensostrutture. 60 atomi possono formare degli esagoni e pentagoni regolari a dare luogo a una struttura sferica che riproduce perfettamente i palloni da calcio usati in quegli anni.

L'idea brillante di Smalley e Kroto (che ottennero il premio Nobel per la chimica nel 1996) li portò a formulare l'ipotesi, allora non dimostrata, che proprio questa sia la struttura del cluster di carbonio a 60 atomi, C_{60} . Chiamarono questa nuova molecola "fullerene" dal nome del celebre architetto.

Questa scoperta portò alla messa a punto di metodi per generare nano strutture di carbonio come quella del 1991 del giapponese Sumio Iijima che ottenne strutture di carbonio allungate, i nano tubi, sorte di cavi elettrici o meccanici di dimensione molecolare. Oggi i nanotubi di carbonio sono prodotti industrialmente e usati in diverse applicazioni, in miscela con polimeri per ottenere nuovi materiali compositi particolarmente resistenti, ma sono studiati anche per possibili applicazioni in elettronica, biologia e medicina.

Più di recente, Novosolov e Geim riportarono un metodo per ottenere fogli singoli di carbonio, sottilissime pellicole di un atomo di spessore costituite da esagoni condensati cui è stato dato il nome di grafene.

Microscopi per "vedere" gli atomi

Qualche anno prima della scoperta del fullerene, un altro salto di qualità prendeva corpo. Due ricercatori del centro IBM di Zurigo, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, progettaron e realizzarono uno strumento sofisticatissimo e rivoluzionario, il microscopio a scansione a effetto tunnel, anche noto come STM. A Binnig e Rohrer occorsero alcuni anni di duro lavoro per trasformare in qualcosa di funzionante un'idea basata sul fatto che se uno riesce a produrre una punta estremamente affilata e la pone a distanza molto ravvicinata con la superficie di un conduttore come un metallo, si può, applicando una piccola differenza di potenziale elettrico, indurre un flusso di elettroni, una corrente, tra la punta e la superficie,

Se i due oggetti, punta e superficie, sono vicini ma non a contatto, ossia sono separati, il flusso di elettroni deve avvenire attraverso il vuoto (che si comporta da ottimo isolante elettrico) grazie a un meccanismo proprio del mondo atomico quantistico, l'effetto tunnel.

L'intensità della corrente generata dipende dalla distanza tra punta e superficie e se si riesce a misurare questa corrente piccolissima si può ottenere una immagine topografica della superficie stessa. Grazie all'elaborazione del segnale elettrico si possono vedere i singoli atomi di cui è fatta la superficie: nessuno prima aveva potuto osservare direttamente gli atomi. Il metodo introdotto da Binnig e Rohrer, (Nobel per la fisica nel 1986), apriva vie completamente inesplorate per la manipolazione della materia a scala atomica e forniva per la prima volta immagini dirette del mondo "nano". Pochi anni dopo Don Eigler, del centro ricerche IBM di Almaden, in California, migliorava lo strumento originale rendendo possibile operare a temperature molto basse, vicine allo zero assoluto.

La scoperta dell'STM permette di osservare e manipolare la materia a livello atomico solo nei materiali conduttori. Per estendere l'esplorazione ad altri sistemi come i materiali isolanti o in biologia Gerd Binnig ebbe un'altra idea brillante per costruire un diverso tipo di microscopio atomico adatto a riconoscere e visualizzare il profilo di qualsiasi oggetto, usando le debolissime forze che si instaurano tra qualsiasi oggetto di dimensioni molecolari quando si trovano a distanza sotto il nanometro. Progettò una speciale lamina a sbalzo che vibra quando la punta si avvicina alla superficie da esaminare. Misurando le vibrazioni con un laser, si riuscì a produrre una immagine della superficie sotto la punta. Il nuovo strumento, l'AFM, (Atomic Force Microscope) oggi raggiunge una risoluzione di tipo atomico, tanto che l'uso di questo strumento si è diffuso ancor più dell'STM nello studio dei nano sistemi.

Lezioni dalla natura

C'è un altro aspetto di questa storia su cui vale la pena di soffermarsi. Abbiamo visto che il microscopio AFM è basato sulle deboli forze che esistono quando gli oggetti molecolari sono a distanza molto ravvicinata. Per oltre un secolo i ricercatori hanno cercato di capire come fa il gecko, un piccolo rettile che vive in tutti i continenti, a camminare sulle pareti o sui soffitti con grande rapidità e facilità. Molte ipotesi sono state formulate nel corso del tempo: la secrezione di una colla speciale, la presenza di piccole ventose alle estremità delle dita, la capacità di attivare forze elettrostatiche, ecc. Nessuna di queste ipotesi ha retto a una verifica seria. E' solo di

recente che è stato osservato, grazie a immagini ad alta risoluzione ottenute con il microscopio elettronico, che le zampe e le dita del gecko terminano con dei sottili filamenti, e che ogni filamento si ramifica in altri filamenti ancora più sottili, ciascuno della dimensione di alcune centinaia di nanometri. La parte terminale delle dita del gecko è pertanto un tipico esempio di materiale nano strutturato. Ogni filamento in contatto con una superficie genera delle piccolissime interazioni di tipo van der Waals. Un singolo filamento aderisce in modo debole alla superficie, ma ci sono circa 14000 filamenti per millimetro quadro nelle dita del gecko così che l'effetto finale è una forte adesione. Questo esempio, che è divenuto un classico nella aneddotica sulle nanotecnologie, è comunque un tipico caso in cui la natura ci fornisce una dimostrazione pratica della potenza nascosta nel mondo a scala nanometrica.

Questo ci porta agli aspetti più rilevanti della nanoscienza e della nanotecnologia dal punto di vista delle applicazioni pratiche. L'obiettivo è produrre, sfruttando le dimensioni di atomi, molecole o loro aggregati, nuovi materiali con proprietà di grande impatto economico e sociale: la produzione di energia solare mediante celle fotovoltaiche di nuova generazione, elettronica molecolare per sostituire i dispositivi basati sul silicio, la produzione di sensori selettivi per individuare inquinanti e sostanze tossiche in tracce, la sintesi di materiali ultra-resistenti o con proprietà termiche eccezionali, ecc.

Imparare dalla natura e provare a riprodurre i suoi complessi processi frutto delle mutazioni genetiche di milioni d'anni, è la sfida delle nanotecnologie del futuro con importanti ricadute. Sarà possibile sviluppare nano sensori per identificare le parti del corpo umano da riparare, diventerà possibile somministrare farmaci in modo mirato solo nelle zone dell'organismo affette da una determinata patologia; si costruiranno macchine molecolari per riparare tessuti e organi senza ricorrere alla chirurgia. Fantascienza? Prevedere il futuro è un esercizio difficile e pericoloso. Venti anni fa nessuno poteva prevedere la rivoluzione introdotta da internet, anche se le premesse erano già note ed esistenti: oggi non potremmo più farne senza. Allo stesso modo, è molto difficile prevedere come sarà il mondo tra vent'anni. Ma non c'è dubbio che le nanotecnologie siano uno dei campi da cui ci si aspettano i cambiamenti più profondi. Conoscerle meglio è quindi un modo per prepararsi a quello che ci aspetta.

di Gianfranco Pacchioni

**PREMIO
RICERCATORI
UNDER
35**

INFO, BANDO E REGOLAMENTO SU
www.giovediscienza.it

7^a EDIZIONE

Candidature entro il **28 febbraio 2018**