

NANOTECNOLOGIE DALLA CLAVA ALL'ATOMO

Fin dai tempi più remoti, l'uomo ha sempre ricavato da ciò che esiste in natura degli strumenti adatti a soddisfare le proprie esigenze, degli strumenti, cioè, che gli consentissero di migliorare la qualità della vita.

DI BARBARA URBANI

*Il Prof. Harold Kroto.
Nella mano sinistra ha il modello della
molecola del carbonio 60. Nella mano destra il C70.*

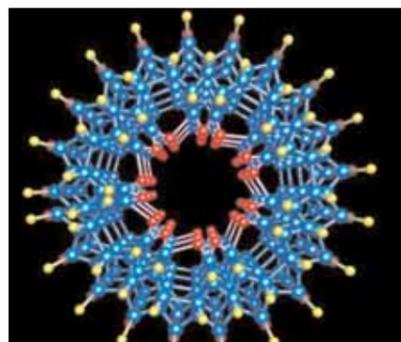


Gli ominidi, per espandere le possibilità consentite loro dalle mani nude, utilizzavano principalmente il legno. Gli studiosi ritengono, infatti, che il più antico strumento deve certamente essere stato il bastone da scavo, ossia un ramo con una punta, simile a quello che ancora oggi i Boscimani utilizzano per estrarre dalla terra radici, tuberi e insetti, ma, poiché il legno è deperibile, non ne è rimasta traccia. Diverso è il discorso per la pietra, molto più dura e resistente, utilizzata già circa 2,5 milioni di anni fa come arma. All'inizio essa veniva scheggiata per renderla tagliente e poi fu sempre più levigata e utilizzata come strumento per la caccia e per tagliare carne e pelli. Accanto alla pietra cominciarono via via a porsi anche gli ossi, levigati, lavorati e utilizzati, ad esempio, come aghi. La ceramica fece la sua comparsa nel Neolitico; la più antica, mai ritrovata,



La produzione del rame nel Giappone antico sfruttava gli stessi principi che sono ancora alla base dei metodi odierni.

fu infatti realizzata in Giappone 12.000 anni fa, mentre le prime conoscenze metallurgiche iniziarono allorché l'uomo si accorse che i metalli, all'aumentare della loro temperatura, prima si ammorbidiscono e possono essere deformati abbastanza facilmente in vario modo, e poi fondono e possono essere colati, per ritornare solidi dopo il raffreddamento. Il rame era conosciuto e utilizzato dai Sumeri nel 3.500 a.C., mentre la lavorazione del bronzo si fa risalire intorno al 1.800 a.C. e quella del ferro al 1.400 a.C.. Le conoscenze metallurgiche quindi divennero sempre più diffuse, già i Cinesi, gli Egizi e i Fenici conoscevano lo stagno, il piombo, l'argento e l'oro e gli antichi Romani persino l'ottone. Gli Egizi, del resto, producevano oggetti in vetro, lavoravano la terracotta ed utilizzavano sostanze coloranti naturali come la porpora, l'indaco, il minio, i pigmenti minerali.



DALL'ALTO IN BASSO:

- Foto di nanotubi di carbonio.
- Disegno di un tubo molecolare.
- Le sfere sono atomi: blu carbonio, rosse ossigeno, giallo idrogeno.
- Ruota a camme al microscopio elettronico a scansione.
- Modello atomico di Rutherford.

teresse, giunto ormai al livello delle molecole, scendendo a quello degli atomi) fu opera di Richard Feynman, Premio Nobel per la Fisica, che partecipò anche agli studi sulla bomba atomica. Egli, nel 1959, per primo parlò della possibilità di manipolare la materia su scala atomica e immaginò che si potesse trascrivere tutta l'Enciclopedia Britannica sulla testa di uno spillo. Il concetto di nanotecnologie fu espresso per la prima volta ben quindici anni più tardi, nel 1974, quando Norio Taniguchi, un ricercatore dell'Università di Tokio, lo utilizzò per riferirsi alla capacità di costruire materiali su scala nanometrica. Se per molti secoli l'uomo ha modificato la materia su scala macroscopica, manipolandola, tagliandola, e successivamente fondendola, riscaldandola e sottoponendola a pressioni, **attualmente l'attenzione si è spostata direttamente sugli atomi che la costituiscono, cioè sull'infinitamente piccolo.** La sfida della moderna tecnologia, negli ultimi decenni, è stata quella di creare prodotti sempre più compatti, che avessero però qualità e potenzialità anche maggiori di quelle possedute dai precedenti. Un settore in cui questa tendenza si è manifestata in modo particolarmente evidente anche per i non addetti ai lavori è quello dell'informatica, in cui la costruzione di computer sempre più compatti ha comportato non solo un enorme risparmio di spazio, ma anche la possibilità di generare apparecchi con maggiore capacità di memoria e capacità di calcolo in grado di trasferire ed elaborare dati ad una velocità sempre

più elevata. A ciò si è aggiunta la possibilità di costruire gli stessi su scala industriale, il che ha comportato un notevole abbassamento dei prezzi e, quindi, la loro grande diffusione in tutti i settori lavorativi e persino nelle abitazioni private, tanto che oggi il personal computer è considerato un bene indispensabile e un potente mezzo di comunicazione, vista la possibilità di un agevole accesso ad Internet. Altro esempio è dato dai radiotelefonini cellulari, sempre più piccoli e con potenzialità crescenti. Tutto ciò è stato naturalmente possibile grazie allo sviluppo dell'elettronica, e per meglio dire, di applicazioni di nanotecnologie nell'elettronica. **Per comprendere bene cosa siano veramente le nanotecnologie è necessario distinguere tra nanotecnologie e nanoscienze.** Quest'ultime rappresentano lo studio dei fenomeni e delle manipolazioni dei materiali su scala molecolare e, in genere, di piccoli aggregati di atomi. Esse sono una realtà ormai affermata nel mondo della ricerca. Le nanotecnologie applicano invece le conoscenze acquisite dalle nanoscienze per creare e utilizzare materiali, dispositivi e sistemi con dimensioni a livello nanometrico, ossia da 1 a 100 nanometri. Il loro nome deriva dal greco "nannos", che significa "molto piccolo". Per comprendere quanto sia "piccolo" l'ambito nel quale queste tecnologie operano, bisogna tener presente che un nanometro indica un milionesimo di metro (=un milionesimo di millimetro), mentre un micrometro indica un milionesimo di metro (= un millesimo di millimetro). È necessario a questo punto fare qualche semplice esempio perché questo concetto sia più chiaro: un capello umano ha un diametro di circa 80.000 nm (nanometri), un globulo rosso ha un diametro di circa 7.000 nanometri, una proteina ha una

IL MILIONESIMO DI MILLIMETRO

La corsa alla miniaturizzazione, ossia verso l'infinitamente piccolo, caratterizza le ricerche attuali degli scienziati e le loro prime applicazioni pratiche, frutto del lavoro svolto a livello atomico.

La prima teorizzazione relativa alle nanotecnologie (che procedono nel cammino verso il sempre più piccolo, spostando il campo d'in-

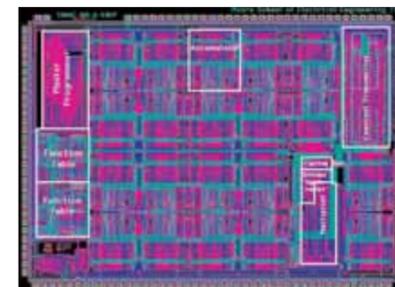
DAL PRIMO COMPUTER AI PC

Il primo calcolatore elettronico mai realizzato si chiamava Eniac (Electronic Numerical Integrator and Computer), la struttura principale era lunga 30 metri, alta 2,4 e larga 0,9. Occupava 167 mq, pesava 27 tonnellate e consumava circa 160 Kwatt. Funzionava a valvole: ne conteneva, infatti, ben 17.468, e il problema più grande posto dal suo funzionamento era costituito dalla necessità di sostituire in continuazione le valvole che via via esaurivano la loro vita operativa (se per ipotesi ogni valvola fosse stata caratterizzata da una vita di 1.800 ore, se ne sarebbero dovute cambiare statisticamente 10 ogni ora). Fu presentato il 14 febbraio del 1946. Nel 1996, in occasione del cinquantesimo compleanno dell'ENIAC, un gruppo di studenti sotto la supervisione del Professor J. Van Der Spiegel hanno integrato un circuito perfettamente equivalente all'ENIAC su un chip grande 7,44 mm x 5,29 mm, utilizzando la tecnologia CMOS da 0,5 micron (un micron è pari ad un millesimo di millimetro, o 1000 nanometri). Come la maggior parte delle



Il primo computer digitale (numerico) della storia nacque il 14 febbraio del 1946. Era in grado di effettuare 5000 somme/sottrazioni al secondo ed occupava un enorme stanzone di 170 metri quadrati.

IN BASSO: Nel 1996 l'ENIAC è stato emulato completamente su un piccolo circuito integrato fabbricato con processo CMOS da 0,5 micron e contenente circa 174.570 transistor.



invenzioni, venne inizialmente utilizzato per scopi bellici. Fu infatti costruito dalla US-Army grazie al contributo della University of Pennsylvania durante la Seconda Guerra Mondiale e utilizzato per i calcoli balistici del Pentagono. La diffusione vera del computer nella società civile è dovuta all'elettronica prima e alla microelettronica poi. Dopo le valvole cominciarono ad essere utilizzati i transistor e, in seguito, i circuiti integrati, fino al chip e al microchip. Non solo dunque un progressivo compattamento dello strumento, ma anche una sua maggiore velocità nell'eseguire operazioni nell'unità di tempo.

ALLA SCOPERTA DEL NUOVO MONDO

Le nanotecnologie intervengono sulla materia con due diverse modalità: dalla prima sono stati già ottenuti dei risultati pratici, ma è dalla seconda che sono attesi quelli più ambiziosi e rivoluzionari.

Due sono gli approcci seguiti per operare a livello nanometrico: l'attualmente più seguito *Top Down*, che significa giungere alle dimensioni più piccole dall'alto, riducendo la materia con metodi fisici (ossia, utilizzando una certa quantità di materia, si cerca di intervenire su di essa fino ad operare sulla sua componente più piccola) e il più sperimentale *Bottom Up*, ossia l'approccio alla materia dal basso, secondo cui, partendo dai componenti più piccoli, come molecole o atomi, si cerca

dimensione di circa 10 nanometri, un nanotubo di carbonio (recente scoperta fondamentale per lo sviluppo delle nanotecnologie) ha un diametro di circa 1,4 nanometri. È proprio sulla dimensione nanometrica che operano le nanotecnologie, con lo scopo, dunque, di creare nuovi materiali e prodotti, che oltre a distinguersi per le dimensioni infinitesimali vantano anche caratteristiche superiori o completamente nuove, rispetto a quelli con dimensioni macro.

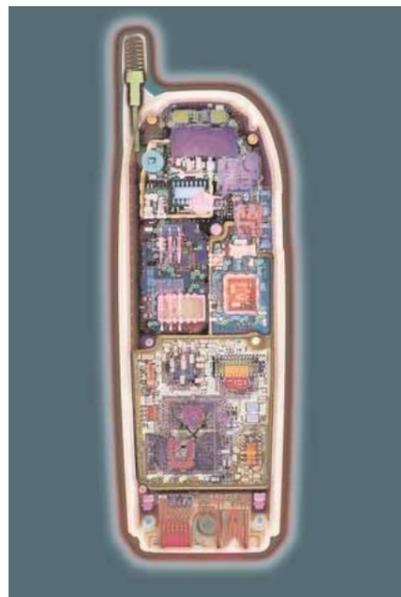


Foto ai raggi X, colorata con falsi colori, di un telefono cellulare. La maggior parte del telefono è fatta di plastica, responsabile del peso contenuto.

di indirizzarne l'assemblaggio fino a formare delle nanostrutture e quindi creare materiali o dispositivi in base ad una progettazione a priori. Le nanotecnologie rendono possibile, dunque, studiare, progettare, fabbricare e caratterizzare materiali del tutto nuovi, dotati spesso di caratteristiche molto diverse da quelli contenenti atomi simili ma impiegati su dimensioni maggiori. La nanoelettronica e la nanoingegneria sono attualmente i campi d'elezione dell'approccio *Top Down*. La tecnologia moderna, con chip e circuiti integrati tratti da wafer di silicio che costituiscono gli elementi attivi e le memorie dell'ultima generazione di computer e dei telefonini, ne sono, infatti, un esempio pratico. Certo, l'altro approccio è il più rivoluzionario ed innovativo ed in grado di prospettare le soluzioni più ambiziose, ma numerosi problemi, ad esso legati, sono ancora da superare. Del resto, anche l'approccio *Top Down*, che a noi sembra più ovvio, non è poi così banale. Sussistono, infatti, delle grandi difficoltà operative: come ci ha

spiegato il Prof. Florestano Evangelisti, Direttore dell'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR, "Le industrie che producono gli attuali circuiti integrati per computer devono necessariamente fare investimenti colossali, perché riuscire a fabbricare oggetti, su scala nanometrica, tutti uguali e che funzionino correttamente, comporta grandi difficoltà. Per rendersi conto di ciò, bisogna tener presente che attualmente l'elettronica opera su un ordine dimensionale ben più grande, genericamente sui 100 nanometri, e ciò significa, per fare un esempio, che **nel diametro di un capello, pari a circa 100.000 nanometri, possono essere allineati oggi ben 1.000 dispositivi, da impiegare come elementi base della memoria degli attuali computer.** Bisogna inoltre considerare che, su scala nanometrica, la fisica è tale che cambia completamente il modo di funzionare dei dispositivi elettronici, non si possono più trascurare effetti legati alla meccanica quantistica e fenomeni d'interferenza: fenomeni tipici della natura ondulatoria degli elettroni. Gli oggetti fatti con dimensioni nanometriche hanno, infatti, proprietà e comportamenti diversi rispetto ai medesimi oggetti di dimensioni più grandi. Alcune manifestazioni sono infatti legate alla scala: quando abbiamo a che fare con un numero molto piccolo di atomi, si possono rivelare tutta una serie di proprietà anche molto diverse da quelle che si rivelano quando l'aggregato è più grande".



Fotografia al microscopio a scansione elettronica di un capello umano.

I RISVOLTI ECONOMICI

Il metro di sviluppo delle società attuali è dato soprattutto dalla loro capacità di generare nuove idee. Le nanotecnologie rappresentano una grande sfida sia sul fronte culturale che economico.

Le ricerche e le successive applicazioni pratiche in questo campo sono lo stupendo risultato dell'interazione di un complesso di discipline scientifiche diverse fra loro, quali la fisica atomica, la meccanica quantistica, la chimica, la scienza dei materiali, la medicina, la biologia, l'ottica e l'elettronica, solo per citarne alcune. Se è vero che la microelettronica è stata inizialmente il settore di ricerca d'elezione delle nanotecnologie, oggi i campi di applicazione sono praticamente illimitati e quindi tutti i settori produttivi e i campi di ricerca, non ultime **la medicina, per nuove cure, la sicurezza alimentare, l'aeronautica, e persino l'ambiente, per fonti d'energia pulita, possono, grazie ad esse, essere oggetto di miglioramenti, anche rivoluzionari.** Oltre a rappresentare una grande sfida intellettuale e culturale, esse hanno importanti risvolti economici. Infatti, se nell'Ottocento il grado di sviluppo di una società poteva essere misurato in termini di quantità d'acciaio prodotta, attualmente, il metro di paragone più usato è il progresso e la diffusione dei mezzi tecnologici ed elettronici. In questo senso è comprensibile come le nanotecnologie, con il loro potenziale rivoluzionario, rappresentino un campo attuale e futuro di grande sviluppo anche economico. Al momento non è possibile dare una valutazione precisa del mercato, ma le

prospettive di crescita sono sicuramente molto incoraggianti. Le nanotecnologie sono, infatti, di importanza fondamentale per molte industrie, che hanno spesso propri centri di ricerca interni che ne studiano le particolari applicazioni. I Paesi nei quali maggiormente vengono compiute le ricerche in questo settore sono, naturalmente, gli Stati Uniti, il Regno Unito, la Germania, ma anche la Corea, che ha messo a punto un programma decennale di finanziamento per ricerche esclusivamente nel settore informatico. Ricerche ad alto livello vengono compiute anche dalla Cina. L'Unione Europea nel 6° Programma Quadro per la Ricerca, per gli anni 2002/2006, ha stanziato un budget pari a 17,5 miliardi di euro e di questi, in particolare, **1,3 miliardi di euro sono stati stanziati per le ricerche riguardanti le nanotecnologie, i materiali intelligenti e i nuovi processi di produzione,** con l'obiettivo di "aiutare ad acquisire le capacità per sviluppare e gestire la ricerca in materia di architettura supramolecolare e macromolecolare nonché le relative applicazioni nei settori della chimica, della salute, ecc."

APPLICAZIONI PRATICHE

I campi di possibile sviluppo per le applicazioni future sono praticamente illimitati e vanno dall'informatica alla medicina, passando per l'ambiente, il settore alimentare, il tessile...

Le nanotecnologie comprendono attualmente tre settori di ricerca principali:

la nanoelettronica: riguarda le tecnologie dell'informazione e

le telecomunicazioni; soprattutto per quanto attiene al settore informatico, è destinata a creare macchine con prestazioni più elevate;

la nanobiologia: rappresenta l'applicazione nel settore medico e sanitario; è volta alla cura del cancro e delle malattie cardiovascolari, a produrre biosensori, biomateriali e protesi biocompatibili, nonché nuovi farmaci a rilascio controllato. Prodotti cosmetici e per l'industria alimentare;

i nanomateriali: riguarda le ricerche volte a produrre materia-



Accelerometro micromeccanico. Questo sensore è impiegato nei sistemi elettronici di controllo di stabilità delle automobili.

H. KROTO

Harold Kroto è nato nel 1939 nel Cambridgeshire, da genitori polacco-tedeschi emigrati in Inghilterra nel 1937 dalla Berlino nazista. Vinse il Premio Nobel per la Chimica nel 1996, insieme a Robert F. Curl e Richard E. Smalley, per la scoperta dei fullereni, la terza forma allotropica del carbonio conosciuta, dopo il diamante e la grafite, che possiede importanti proprietà di conduttività. In queste molecole, e in particolare nel Fullerene 60, gli atomi di carbonio sono disposti in forma di pallone da calcio. Il nome fullerene deriva dall'architetto Fuller, per la somiglianza di queste molecole con le cupole geodetiche da lui create. Da qui, poi, la scoperta dei nanotubi di carbonio, un'ulteriore forma allotropica, attualmente molto studiati per le loro proprietà di conduzione sia termica che elettrica, e per la loro notevole resistenza meccanica. In futuro potrebbero infatti essere utilizzati per sostituire gli attuali transistor nei circuiti dei computer, potendo far fluire un elettrone alla volta (transistor ad elettrone singolo). Attualmente Kroto ha fondato un'associazione, Vega, con lo scopo di divulgare gratuitamente conoscenze scientifiche. Egli produce importanti programmi televisivi in collaborazione con la BBC. Il sito internet della fondazione è: www.vega.org.uk.

li del tutto nuovi. Come nuovi tipi di batterie, celle solari, celle a combustibile, allo scopo di favorire lo sviluppo di tecniche per migliorare lo stoccaggio, l'efficienza e la produzione di energia, oltre allo sviluppo di prodotti per il settore della difesa e quello aerospaziale.

IL FUTURO

Se lo sviluppo di numerosi prodotti è già giunto alla fase commerciale, molti altri che oggi ci appaiono ancora fantascientifici arriveranno anche a breve, quando non brevissimo, termine.

Alcuni prodotti realizzati grazie alla capacità di intervenire sui materiali in modalità *Top Down* su scala nanometrica sono già disponibili sul mercato, come polveri per creme solari con proprietà anti-UV e hard-disk per registrazioni ad altissima densità. È stata, inoltre, recentemente inventata una plastica che ha la capacità di convertire i raggi solari in energia elettrica con un buon rendimento persino nelle giornate più nuvolose. Nanoparticelle appositamente progettate, i *quantum dot*, sono stati combinati con un polimero, per ottenere un nuovo materiale che potrebbe consentire in futuro di costruire pannelli solari più efficienti.

In Italia, i ricercatori dell'Istituto di Spettroscopia Molecolare del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna (Istituto considerato dal Nanotechnology Expert Group e dall'Eurotech Data dell'Unione Europea tra i centri europei più specializzati nello studio delle nanotecnologie), coordinati dal dottor Carlo Taliani, hanno inventato un microchip, realizzato con materiali organici, costituito prevalentemente da carbonio e idroge-

NANO ROAD MAP

Si tratta di un progetto che sarà realizzato per conto dell'Unione Europea, con l'obiettivo di indicare le previsioni a lungo termine, dieci anni, delle applicazioni delle nanotecnologie in tre importanti settori, i materiali, la medicina e l'energia. Avviato nel Gennaio 2004, doveva concludersi a Giugno 2006, ma le conclusioni finali si avranno già entro quest'anno, poiché l'Unione ha deciso di utilizzarlo per predisporre il 7° Programma Quadro per la Ricerca. Il progetto monitorerà le difficoltà incontrate nella ricerca, le opportunità, le infrastrutture rilevanti, le applicazioni delle nanotecnologie. Sarà realizzato da un consorzio di organizzazioni attive nel settore, in alcuni Paesi dell'Unione Europea, come Francia, Regno Unito, Germania, Spagna, Paesi Bassi, Finlandia e in Repubblica Ceca e Israele. Per l'Italia sarà compiuto da Nanotec IT (Centro Italiano per le Nanotecnologie), una struttura autonoma dell'AIIRI (Associazione Italiana per la Ricerca Industriale), associazione già molto attiva nel settore. Al termine, in ciascun Paese, verrà organizzato un Simposio Nazionale per presentare i risultati della ricerca. Maggiori informazioni sono disponibili nel sito internet www.nanoroadmap.it.



IN ALTO: disegno di un nanorobot "iniettore" che contiene liquido rosso, sulla testa di uno spillo larga 1 mm.
IN BASSO: disegno di un nanorobot che ripara un capello.

no, invece che da silicio, in grado di raccontare la storia di ogni prodotto, dalla sua realizzazione allo smaltimento. È un meccanismo simile a quello del codice a barre, ma molto più efficiente e soprattutto tale da renderne impossibile la contraffazione. Questo consentirà di individuare più agevolmente il percorso seguito dal prodotto, al fine di favorire controlli rapidi e non invasivi.

Secondo quanto risulta dal rapporto stilato dalla Royal Society & Royal Academy of Engineering, **a medio termine nanosfere di materiale inorganico potranno essere utilizzate come lubrificanti.** Esse agiranno come veri e propri cuscinetti a sfera. In ambito medico, le attuali protesi ortopediche e le valvole cardiache, attualmente realizzate con una lega di titanio e acciaio biocompatibile, che in alcuni casi, nel corso della vita del paziente, sono soggette a logorio, saranno sostituite da impianti nanostrutturati molto più resistenti e bio-compatibili. ■