

# Nanotecnologie

Le strutture su scala nanometrica presentano proprietà che richiedono tecniche particolari per la loro fabbricazione

MASSIMO GIUSSANI

Il 29 dicembre 1959 il fisico Richard Feynman, una delle menti più brillanti del XX secolo, tenne al Caltech quello che viene considerato il primo discorso pubblico sulle nanotecnologie: "There's plenty of room at the bottom". Nel suo intervento il futuro Premio Nobel prese in considerazione un campo ancora vergine, quello della realizzazione di dispositivi su scala molecolare e atomica, anticipando alcune delle difficoltà tecniche e suggerendo possibili applicazioni in elettronica, chimica e biologia. A distanza di quasi cinquant'anni, molte di quelle che erano considerazioni puramente teoriche sono diventate realtà, mentre altre ancora potrebbero diventarlo nel prossimo futuro.

## TECNOLOGIE RECENTI

La manipolazione su scala atomica ha dovuto attendere diversi decenni per diventare tecnicamente possibile: solo nel 1981, con l'invenzione del microscopio a scansione a effetto tunnel da parte dei ricercatori Ibm di Zurigo è stato possibile 'vedere' i singoli atomi. Nel 1989 i loro colleghi del centro di ricerca di San José misero in fila 35 atomi di xenon per formare la scritta 'IBM'. Quattro anni prima, Bob Curl, Harold Kroto e Richard Smalley avevano scoperto i buckminsterfullerene, nanostrutture in carbonio ripiegate su sé stesse nella forma di un pallone da calcio e il cui nome è ispirato all'architetto Buckminster Fuller, famoso per le sue cupole geodetiche. I fullereni sono forme allotropiche del carbonio che popolano i panorami su scala nanometrica; i nanotubi in carbonio e i fogli di grafene ne sono altre due manifestazioni. Le proprietà fuori dal comune di queste strutture sono dovute in larga parte al confinamento degli elettroni in una, due o tre dimensioni.

## UN MONDO NUOVO

Ma cosa rende una tecnologia o un oggetto atto a portare il prefisso nano? Non esiste un criterio universalmente condiviso, ma in linea di massima si definiscono nanoprodotti quei materiali e dispositivi che presentano almeno una parte funzionale di dimensioni inferiori ai 100 nm

e siano governati da proprietà che si differenzino marcatamente da quelle che avrebbero su scala macroscopica. Le origini del diverso comportamento possono essere di tipo meccanico-statistico o quantistico. Quando le strutture sono composte da poche decine o centinaia di atomi, non valgono più le proprietà della materia dedotte nel mondo macroscopico su campioni con un numero impressionante di atomi (ricordiamo che una mole di atomi è costituita da circa  $6 \times 1.023$  atomi). Non solo, ma dato che l'area varia con il quadrato della dimensione lineare e il volume con il cubo, al crescere della miniaturizzazione gli effetti superficiali si fanno sempre più importanti. Ad esempio in una particella di diametro pari a 30 nm solo il 5% dei suoi atomi va a formarne la superficie; in una particella, fatta con gli stessi atomi, di 3 nm di diametro gli atomi sulla superficie sono il 50%. Alcuni dei comportamenti controintuitivi su scala nanometrica originano appunto dal diverso modo in cui le diverse proprietà ed effetti fisici si scalano: ad esempio dal punto di vista meccanico la forza di gravità si fa trascurabile, mentre gli effetti di adesione alle superfici dovuti ai legami di Van Der Waals diventano non solo percepibili, ma dominanti.

Dal punto di vista chimico si ha un incremento delle proprietà catalitiche del materiale, per via del fatto che le reazioni chimiche hanno luogo sulla superficie. Le proprietà più 'esotiche' hanno radici nel controintuitivo reame della fisica quantistica: il confinamento in una o più dimensioni comporta un cambiamento nelle proprietà fondamentali dei materiali, come i salti energetici, la massa efficace e la densità degli stati elettronici. Le nuove proprietà possono essere sfruttate per realizzare dispositivi di nuova concezione. Ad esempio, l'effetto tunnel, il blocco coulombiano e la quantizzazione del momento magnetico di spin trovano ampia applicazione in nanoelettronica e nel nuovo campo della spintronica.

## VEDERE PER CREDERE

Uno dei problemi maggiori allo studio e realizzazione di strutture nanometriche è rappresentato dall'impossibilità di vedere direttamen-

te gli oggetti in questione. La luce visibile ha infatti una lunghezza d'onda di alcune centinaia di nanometri e non permette di distinguere dettagli così fini. Esistono soluzioni basate sull'impiego di radiazione di lunghezza d'onda più corta (raggi ultravioletti estremi e raggi X) o di fasci di particelle (nel caso dei microscopi elettronici a scansione) ma sono i microscopi con sonda a scansione ad aver aperto una finestra sul nanomondo. Questi strumenti deducono i dettagli sulla superficie del campione che scorre sotto la sonda dalla corrente trasferita per effetto tunnel o dalla deflessione della microleva che ospita la sonda. Con questi strumenti risulta possibile 'vedere' anche singoli atomi e molecole. I microscopi AFM, che possono operare sul campione non trattato e non sottovuoto, rappresentano uno strumento di importanza fondamentale non solo per l'analisi, ma anche per la sintesi delle nanostrutture.

## TOP-DOWN E BOTTOM-UP

La produzione di materiali e dispositivi su scala nanometrica può avere luogo in due modi, riassunti dai termini top-down e bottom-up. L'approccio top-down è di tipo sottrattivo: si parte da una struttura macroscopica e si asportano porzioni di materiale con tecniche litografiche fino a lasciare le strutture in scala micrometrica. Gli stessi motivi che rendono la luce visibile inadatta all'osservazione fanno sì che sia necessario ricorrere a tecniche litografiche basate su raggi UV estremi (Litografica EUV, che è in via di perfezionamento da parte di un consorzio di aziende e istituti di ricerca che comprende Intel, Amd, Motorola e i laboratori Sandia, Lawrence Livermore e Berkeley), raggi X (permette di raggiungere risoluzioni dell'ordine della decina di picometri, ma è molto costosa) e fasci di elettroni. L'approccio bottom-up è di tipo additivo e rappresenta il futuro in espansione delle nanotecnologie: le strutture sono realizzate apportando materiale, anche sotto forma di singoli atomi. I microscopi a forza atomica possono essere usati come 'penne' che depositano 'inchiostri' molecolari nelle tecniche Dip Pen Nanolithography (DPN) e Thermal DPN, ma possono anche essere usati per piegare nanotubi e realizzare le 'isole' dei dispositivi a singolo elettrone. Un'altra tecnica (usata al MIT Media Lab) permette di realizzare circuiti, sensori e Mems su un supporto plastico flessibile spruzzandovi un inchiostro di nanoparticelle con una stampante a getto. Sono però le tecniche di au-

toassemblaggio quelle che offrono maggiori speranze per il futuro: atomi e molecole si dispongono in uno schema predefinito senza bisogno di interventi esterni, ma solo grazie a 'richiami' chimici.

## PRONOSTICI DI SUCCESSO

Le potenzialità applicative sono talmente ampie e differenziate da interessare diverse branche della scienza e della tecnologia. Ogni settore porta con sé esigenze, tecniche e prodotti propri, motivo per cui si parla di nanotecnologie, al plurale. Di fatto le nanotecnologie sono intrinsecamente interdisciplinari e uniscono in modo sempre più intimo fisica, chimica, ingegneria e biologia, quest'ultima sempre più spesso fonte di ispirazione di modelli collaudati da millenni di evoluzione. Le stesse nanotecnologie si stanno evolvendo: secondo Mihail Roco, consulente per le nanotecnologie della statunitense National Science Foundation, assisteremo a quattro fasi di sviluppo. La prima e la seconda fase consistono nella realizzazione di semplici nanostrutture dedicate a un unico compito e nella messa a punto di blocchi costituenti strutture più complesse; nella terza fase sarà possibile realizzare sistemi composti da migliaia di nanoelementi interagenti fra loro; la quarta e ultima fase è quella più impegnativa e vedrà la realizzazione di dispositivi molecolari composti da sottoparti e funzionanti in modo analogo a una cella biologica.

Le premesse per un futuro luminoso ci sono tutte e i vari osservatori sono in disaccordo solo sulla dimensione del successo commerciale: Lux Research ha pronosticato un fatturato di 2.600 miliardi di dollari per il 2014, altri parlano di 1.000 miliardi di dollari per il 2015.

La Comunità Europea ha stanziato 1,4 miliardi di euro per le nanotecnologie e i nanomateriali nel corso del sesto programma quadro e ha deciso di proseguire sulla stessa linea anche nel settimo programma per il periodo 2007-2013 diventando il primo ente pubblico al mondo come entità di fondi stanziati.

La UE riconosce un ruolo fondamentale all'industria micro e nanoelettronica e grazie a Eniac (European Nanoelectronics Initiative Advisory Council) metterà a disposizione delle aziende e degli istituti di ricerca, tra il 2008 e il 2013, il 60% dei 3 miliardi di euro che ha a disposizione per investimenti entro dieci anni. L'obiettivo è di conseguire la leadership mondiale in un settore ritenuto strategico per lo sviluppo economico.