

NANOMATERIALI, NANOELETRONICA, NANOMEDICINA: POTENZIALITÀ E SVILUPPI

L'importanza delle Nanotecnologie

Le nanotecnologie consentono di costruire oggetti, dispositivi e materiali con le dimensioni del miliardesimo di metro. Dal punto di vista funzionale poggiano su nanostrutture che consentono il risparmio di spazio, la possibilità di controllare le proprietà dei materiali, il miglioramento della potenza e della capacità di memoria dei dispositivi elettronici.

Armando Martin

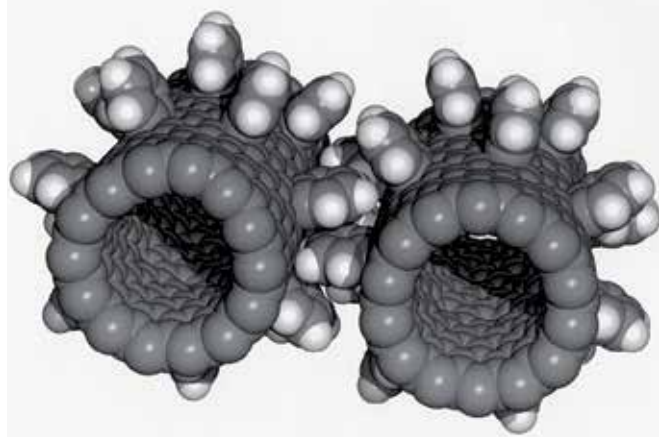
La **nanotecnologia** è un ramo della scienza applicata e della tecnologia che si occupa del controllo della materia, della progettazione e della realizzazione di dispositivi su scala dimensionale **inferiore al micrometro**, in genere tra 1 e 100 nanometri. Il termine nanotecnologia indica genericamente la manipolazione della materia a livello atomico e molecolare, e in particolare si riferisce a lunghezze dell'ordine di pochi passi reticolari.

Le nanotecnologie ricadono in un ambito di **indagine multidisciplinare**, coinvolgendo molteplici indirizzi di ricerca, tra cui: biologia molecolare, chimica, scienza dei materiali, fisica, ingegneria meccanica, ingegneria chimica ed elettronica.

Pur essendo protagoniste della ricerca da qualche decennio, le nanotecnologie si trovano ancora in una fase iniziale del loro sviluppo. Esse puntano alla creazione e all'impiego di materiali, dispositivi e sistemi con dimensioni a livello molecolare e caratteristiche migliorative e innovative. Ciò si deve alle profonde diversità nel comportamento di strutture e dispositivi di dimensioni su scala nanometrica rispetto a sistemi analoghi realizzati con la tecnologia microelettronica tradizionale.

Due sono i principali approcci progettuali e realizzativi tipici delle nanotecnologie. L'approccio **bottom-up** prevede che i materiali e i dispositivi siano realizzati partendo da componenti molecolari che si auto-assemblano tramite legami chimici, sfruttando principi di riconoscimento molecolare. L'approccio **top-down** prospetta che i dispositivi siano fabbricati da materiali macroscopici attraverso un attento controllo dei processi di miniaturizzazione a livello atomico.

Un terzo approccio più radicale si propone di implementare nuovi dispositivi e paradigmi per



Ingranaggio Nanometrico (Nasa)

il **signal processing**, basati su fenomeni fisici innovativi e tecnologie di frontiera come la spintronica e il quantum computing.

L'evoluzione

La comparsa dei concetti essenziali della nanotecnologia si deve probabilmente all'intervento "There's Plenty of Room at the Bottom", una conferenza tenuta dal fisico **Richard Feynman** nel 1959. Successivamente il libro di Kim Eric Drexler del 1987 "Engines of Creation" introdusse il concetto di nanotecnologia a un pubblico più vasto. Nel 1989, Dan Eigler, grazie ad uno STM (**Scanning Tunnel Microscopy**, Microscopio a Scansione Tunnel) modificato, fu tra i primi a dimostrare come si potevano manipolare singoli atomi con precisione atomica. Quasi vent'anni dopo, Heinrich e Markus Ternes, insieme a scienziati della University of Regensburg, mostrarono come calcolare la forza necessaria a queste operazioni.

Nel frattempo, nei più disparati contesti hanno continuato a moltiplicarsi gli studi sulle nanotecnologie, con un progressivo ampliamento del campo di indagine. Oggi parte di questi studi,

A FIL DI RETE

www.anieautomazione.it



avanzamenti e intuizioni si stanno concretizzando sotto forma di tecnologie concrete.

Potenzialità e applicazioni

Due sono i principali fattori fisico-tecnologici alla base delle vastissime proprietà dei nanomateriali: l'incremento dell'area superficiale e l'effetto di confinamento quantico. Questi fattori determinano non solo l'aumento delle caratteristiche meccaniche ma anche l'insorgere di proprietà ottiche ed elettroniche del tutto nuove, opportunamente sfruttabili per varie applicazioni.

Le dimensioni nanometriche delle particelle forniscono un'elevata **superficie di interfaccia**, conferendo così caratteristiche chimico-fisiche differenti ai materiali nanostrutturati e influenzando sulle applicazioni nelle quali il rapporto superficie attiva-volume diventa determinante.

Anche le proprietà ottiche, magnetiche ed elettriche cambiano radicalmente a livello nanometrico. Riducendo le dimensioni fino a raggiungere quelle tipiche nanometriche dei cosiddetti clusters, a causa del basso numero di atomi presenti nel cluster medesimo e del suo volume ridotto, nella struttura elettronica si manifesta una discretizzazione dei livelli energetici (quantizzazione), a sua volta dipendente dalle dimensioni del cluster.

Questo fenomeno, denominato "**quantum size effect**", dà origine a proprietà del tutto nuove, discordanti con quelle tipiche del materiale a dimensioni macroscopiche ordinarie.

Tra le tecnologie emergenti, le nanotecnologie rappresentano dunque per il mondo dell'industria un'im-

perdibile occasione di crescita e innovazione, interessando settori come la medicina, le biotecnologie, l'agricoltura e l'informatica, fino alla struttura dei materiali, alla ricerca spaziale, all'ambiente, alla meccanica e alla sicurezza.

Numerosi prodotti riconducibili all'utilizzo delle nanotecnologie sono già disponibili sul mercato e di uso quotidiano. La pervasività delle applicazioni nanotecnologiche è dovuta soprattutto all'impatto sui materiali: dal legno al tessile fino ai materiali cementizi autopulenti. Le nanotecnologie trovano inoltre applicazione nell'abbattimento degli inquinanti e nella produzione di

pannelli fotovoltaici.

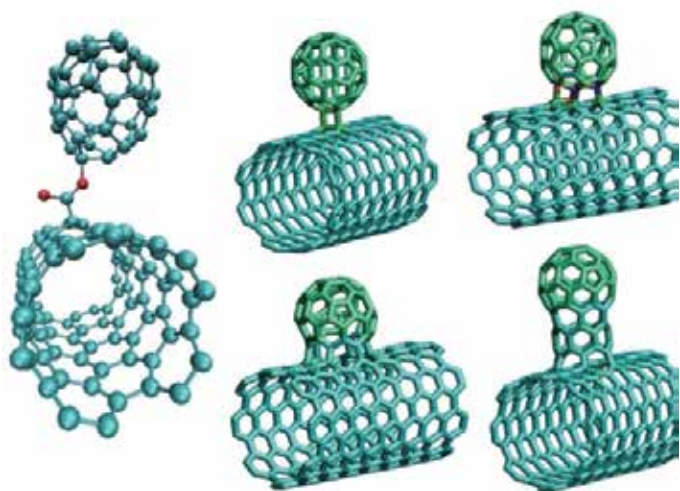
I **rivestimenti nanostrutturati** anticorrosione e decorativi sono l'alternativa alla cromatura di rubinetti, maniglie, occhiali e altri componenti soggetti a corrosione. Numerose le applicazioni nel campo dell'industria biomedica: dalla fabbricazione di protesi ossee e dentali, alla diagnostica e sensoristica, all'ingegnerizzazione di molecole farmacologiche per la cura di malattie. Tramite le applicazioni delle nanotecnologie si possono realizzare **transistor su scala nanometrica** e **dispositivi quantistici** con funzioni più ampie rispetto a quelli classici utilizzati correntemente nell'industria elettronica.

Il confine delle nanotecnologie tocca anche la realizzazione di sensoristica e dispositivi miniaturizzati di tipo **MEMS** (Micro Electro-Mechanical Systems) e **NEMS** (Nano Electro-Mechanical Systems). Queste tecnologie infatti danno vita a sensori e sistemi "intelligenti" che abbiano funzioni elettroniche, fluidiche, ottiche, biologiche, chimiche e meccaniche concentrate in uno spazio ridottissimo. I MEMS e i NEMS sono vere e proprie strutture integrate meccaniche ed elettroniche in silicio monocristallino, su scala micrometrica e nanometrica rispettivamente.

Nanomateriali

I nanomateriali sono materiali formati da unità nanometriche e nanostrutturate nell'ordine del nanometro. Si possono distinguere in tre categorie. La prima è quella dei **materiali con una dimensione nanometrica lamellare** cui appartengono film ultrasottili e superfici tecnologiche. Questa categoria di materiali già da tempo vanta applicazioni nel campo dell'elettronica e dei rivestimenti superficiali. Della seconda categoria, quella dei **nanomateriali in due dimensioni**, fanno parte nanofili e nanotubi. In particolare, i **nanowires** sono fili o cavi nanometrici formati da punti quantici che si autoassemblano a formare una struttura lineare. Nella nanotecnologia dei semiconduttori si sintetizzano nanowires di silicio, nitruro di gallio e fosforo di indio che hanno dimostrato di avere rimarchevoli proprietà ottiche, elettroniche e magnetiche. Infine i **materiali con tre dimensioni nanometriche**. Di questa categoria fanno parte nanoparticelle, punti quantici e materiali nanocristallini con grani di dimensioni nanometriche.

Uno dei settori maggiormente interessati alle applicazioni della nanotecnologia è quello della **chimica di base** e dei materiali. Esempi tipici sono i nanomateriali ultra-leggeri e ultra-resistenti, i nanocompositi polimerici per applicazioni strutturali, le membrane per filtrazione



Modello Nanotubi al carbonio



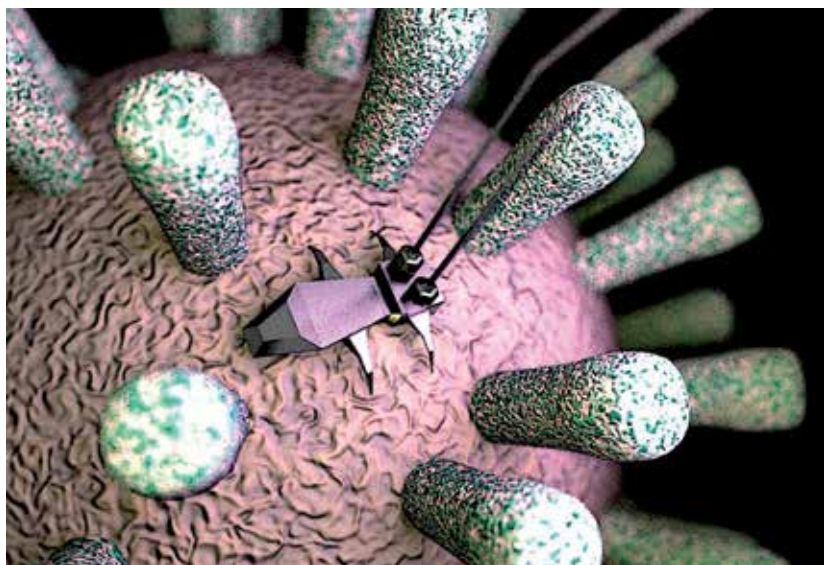
delle acque, i nanomateriali con proprietà barriera, i catalizzatori ad altissima efficienza, i nuovi materiali per le industrie tessili.

Nanoelettronica

L'elettronica e l'ICT sono state la principale forza trainante della nanotecnologia per la loro intrinseca vocazione alla **miniaturizzazione**. In questo campo la sfida è l'ulteriore riduzione delle scale dimensionali e dei consumi energetici, cercando di comprendere le leggi fisiche che sono alla base delle nanostrutture.

Alcuni prodotti elettronici derivanti dalle nanotecnologie sono già disponibili sul mercato quali, ad esempio, memorie non volatili, sistemi PC miniaturizzati, display a basso consumo, semiconduttori, processori di nuova generazione, sensoristica. Tali dispositivi fruiscono di **superfici nanostrutturate** per immagazzinare dati ad altissima densità o nanopolveri con proprietà di protezione contro radiazioni UV o per realizzare rivestimenti e vernici.

Nanostruttura per indagini in medicina



Si possono individuare diversi approcci nel progettare e realizzare nanostrutture elettroniche. Nell'approccio detto **top down** si assiste all'evoluzione dei metodi di scaling verso dimensioni caratteristiche submicrometriche. Tali metodologie sono state sviluppate a livello microelettronico introducendo nuovi criteri di scaling nella tecnologia CMOS, nuovi materiali, sviluppo di strutture avanzate MOSFET. Nell'approccio top down occupano un ruolo centrale i dispositivi che contengono una struttura monodimensionale come quella su cui sono basati i transistori ad effetto di campo a nanotubo di carbonio (CNTFET).

I materiali innovativi impiegati nei nanotubi offrono due importanti vantaggi rispetto ai mate-

riali impiegati nella realizzazione di sistemi convenzionali a stato solido: maggiore mobilità e trasporto balistico degli elettroni. Concettualmente i **nanotubi di carbonio (CNT)** si comportano come guide d'onda a singolo elettrone. Scoperti nel 1985 dal chimico americano Richard E. Smalley, i CNT sono strutture ordinate di forma sferica costituite da atomi di carbonio. Tali strutture, dopo un successivo rilassamento, tendono ad arrotolarsi su sé stesse, ottenendo la tipica struttura cilindrica. A grandi linee si possono suddividere in **SWCNT** (Single-Walled Carbon NanoTube), coppia di nanotubi a parete singola costituiti da un singolo foglio grafittico avvolto su sé stesso, e in **MWCNT** (Multi-Walled Carbon NanoTube), nanotubi a parete multipla formati da più fogli avvolti coassialmente uno sull'altro.

Bio-nanotecnologia e nanomedicina

I sistemi biologici possono essere considerati dei perfetti dispositivi nanostrutturati. Le biomolecole possiedono una morfologia altamente specifica con funzioni complesse che in qualche modo costituiscono il modello a cui le nanotecnologie devono rifarsi. In questo campo le potenziali applicazioni potrebbero effettivamente rivoluzionare il mondo della medicina e della farmaceutica. Si candida ad essere una delle applicazioni più importanti quella dello **studio di farmaci dal rilascio controllato** nel tempo (drug delivery system). La sfida è quella di individuare farmaci che aumentino al massimo la propria efficienza diminuendo per contro gli effetti indesiderati. Le nanotecnologie sono già utilizzate nei dispositivi di diagnostica. L'uso dei **quantum dots** e di **molecole sintetiche traccianti** per immagini diagnostiche è in atto da tempo.

Ulteriori promettenti sperimentazioni in nanobiotecnologia e nanomedicina riguardano nuove e più efficienti formulazioni farmaceutiche, sistemi di diagnostica e analisi di tipo genetico, bioelettronica, protezioni contro agenti biologici, rivestimenti antibatterici.

Non ultime le applicazioni a livello medico-elettronico. Le molecole intelligenti potrebbero ad esempio essere integrate in dispositivi elettronici e quindi entrare nel campo delle applicazioni ICT.

Energia e ambiente

La produzione e la conservazione dell'energia possono beneficiare di nuove celle a combustibile, di batterie di concezione avanzata o di nuovi **solidi nanostrutturati** in grado di garantire un efficiente immagazzinamento dell'idrogeno. Sono inoltre in fase di sviluppo **celle solari fotovoltaiche** a basso costo basate su nanomate-

riali. Si prevede che gli sviluppi nanotecnologici in termini di isolamento, trasporto e illuminazione consentiranno considerevoli risparmi energetici.

Le nanotecnologie e le nanobiotecnologie sono a pieno titolo protagoniste anche nel campo delle energie alternative, come nel caso dei più moderni **pannelli solari**. Esistono progetti avanzati per la costruzione di pannelli ad alta efficienza che traggono ispirazione dal modo in cui le piante sfruttano l'energia solare. Si tratta di mimare processi che avvengono naturalmente nelle piante in specifiche proteine, a livelli nanometrici. Altre applicazioni sono in via di sviluppo nel campo della **prevenzione dell'inquinamento**. È possibile immaginare ad esempio filtri "intelligenti" che agiscono a livello nanometrico selezionando e rendendo innocue le scorie dei processi industriali o i gas di scarico.

Ricerca e investimenti

Le previsioni per l'anno 2015 della Lux Research Inc, stimano un volume delle vendite nel settore delle nanotecnologie pari a 2,5 milioni di miliardi di dollari. Ad oggi, la maggior parte delle vendite è da attribuirsi alla produzione e ai materiali (oltre il 55%), seguita da elettronica e IT (circa il 23%). Le previsioni per l'occupazione nel 2015 parlano di circa 2 milioni di addetti nel settore, di cui il 50% nei soli Stati Uniti.

Del resto le nanotecnologie sono abilitanti sia a livello di impatto sui prodotti che sui metodi di produzione industriale. Le nanotecnologie dovrebbero insomma contribuire in modo fondamentale alla **soluzione delle cosiddette "grandi sfide"** economico-industriali perché consentono di realizzare prodotti e processi per usi specifici, risparmiare risorse, aumentare l'efficienza energetica, ridurre il volume dei rifiuti e delle emissioni.

Anche in Italia le nanotecnologie sono da tempo oggetto di ricerca industriale e occupano **migliaia di addetti**. Esistono centri di ricerca come Veneto Nanotech e CNST che da anni stanno portando avanti progetti innovativi basati sulla ricerca applicata: dalla conversione fotovoltaica ai sistemi bio-mimetici, ai nanovettori intelligenti utilizzati per le diagnosi mediche, ai mini-robot chirurgici, ai materiali smart ecocompatibili, fino alle plastiche di nuova concezione.

Degna di menzione è anche l'Università di Udine che, nell'ambito del Consorzio nazionale interuniversitario per la nanoelettronica (IUNET), è capofila di un progetto di ricerca europeo finalizzato alla realizzazione di un sistema di progettazione per transistor a basso consumo energetico di nuova generazione, che nei prossimi anni sostituiranno, in parte, i tradizionali transistor al silicio.

Molto attivi nella ricerca scientifica anche sono il Consiglio Nazionale delle Ricerche, **l'Istituto Italiano di Tecnologia**, l'Enea, oltre ovviamente a molte Università e Politecnici. Dal punto di vista industriale le aziende che nel nostro paese maggiormente investono nel settore delle nanotecnologie sono i grandi gruppi industriali come ad esempio STMicroelectronics e Finmeccanica. Di pari passo si è sviluppata una crescente attività anche da parte delle piccole e medie imprese. ■