

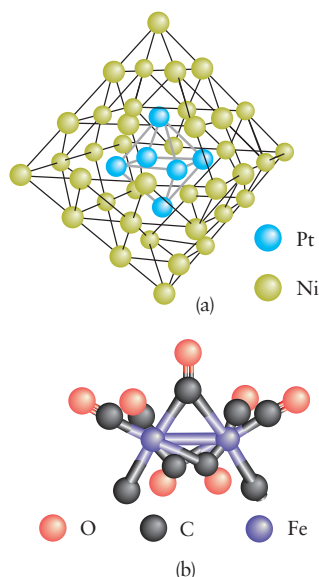
Nanomateriali

I **nanomateriali** sono materiali composti da particelle di diametro compreso tra 1 e 100 nm. Sono più grandi delle singole molecole, ma troppo piccoli per mostrare le proprietà macroscopiche dei materiali. La nanoscienza è lo studio di questi materiali e le nanotecnologie sono le loro applicazioni.

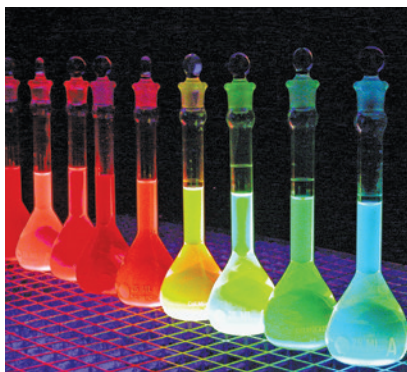
■ La natura e gli impieghi dei nanomateriali

Alcuni metalli e metalloidi possono autoaggregarsi e dare origine a estese strutture regolari di dimensioni nanoscopiche, che possiedono proprietà particolari intermedie tra quelle di un atomo, o di una singola molecola, e di un solido. Questi microaggregati, detti *cluster*, sono composti da centri metallici uniti direttamente fra di loro o collegati attraverso un intermediario che fa da ponte (► Figura 1).

In un cluster, costituito da atomi di dimensioni nanoscopiche, la separazione tra i livelli energetici



► **Figura 1** Modelli di cluster: (a) gli atomi metallici Pt e Ni sono uniti da legami diretti metallo-metallo; (b) gli atomi di ferro sono collegati tramite il gruppo carbonile, CO.

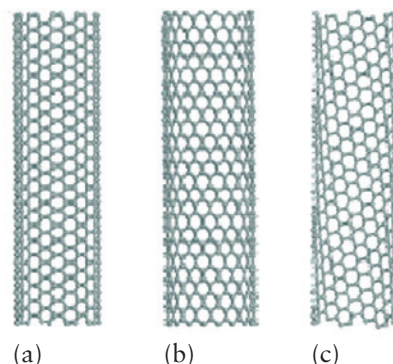


► **Figura 2** I diversi colori di queste sospensioni puntiformi di CdSe/ZnS indicano le diverse dimensioni dei granelli quantici. Quanto maggiore è la lunghezza d'onda del colore emesso, tanto maggiore è il diametro dei granelli quantici.

contigui è significativa. Queste differenze tra i livelli energetici possono generare transizioni nella regione visibile dello spettro. Per esempio, i *punti quantici* sono cluster tridimensionali di materiali semiconduttori come il selenio di cadmio, che contengono da 10 a 10^5 atomi. Sono preparati in soluzione o per deposizione degli atomi su una superficie, con dimensioni dei nanocristalli definite in base alla sintesi. A seconda del raggio del punto quantico, nelle sospensioni di CdSe si osserva una variazione di colore (► Figura 2). Alcuni punti quantici emettono luce quando un elettrone eccitato cade in un livello energetico più basso.

■ I nanotubi

Nel 1991 furono scoperti i nanotubi di carbonio, strutture dritte, cave e lunghe. Si possono immaginare come un foglio di grafene, formato da milioni di atomi di carbonio, arrotolato a formare un cilindro di 1-3 nm di diametro. I nanotubi di carbonio sono conduttori di elettricità, ma a seconda di come sono avvolti la conduttività cambia (► Figura 3). Quando le maglie esagonali della



► **Figura 3** Tre versioni dei nanotubi di carbonio a singola parete: (a) «sedia», (b) zigzag e (c) chirale. La maggior parte dei tubi ha estremità incappucciate con semisfere di atomi. La conduttività elettrica dei nanotubi dipende dalla loro struttura.

rete hanno due lati disposti perpendicolarmente all'asse principale del tubo, la conduttività è buona, simile a quella di un metallo. Se invece le maglie hanno due lati paralleli all'asse principale, i nanotubi si comportano come semiconduttori.

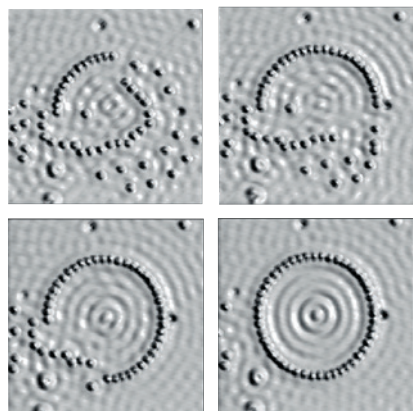
I nanotubi di carbonio sono anche dei buoni conduttori di calore e per entrambe queste proprietà sono usati per lo sviluppo di circuiti integrati miniaturizzati. Sono anche molto forti e la resistenza alla trazione lungo l'asse del tubo è superiore a quella di qualunque altro materiale sperimentato.

Sono stati sintetizzati anche altri tipi di nanotubi e di nanosfere a partire da altri materiali: un esempio sono i *nanotubi di nitruro di boro*. Sono deboli semiconduttori la cui conduttività non dipende dal diametro del tubo o dal modo in cui sono arrotolati.

I nanotubi sono anche utilizzati come stampi miniaturizzati per altri elementi o come sonde, per mantenere in sito singole molecole. La loro superficie interna, altamente porosa, può anche adsorbire atomi di gas.

■ La preparazione dei nanomateriali

I nanomateriali possono essere preparati con due metodi. Il primo approccio, detto «top-down», cioè dall'alto, prevede che i materiali siano modellati con tecniche fisiche come la litografia (► Figura 4).



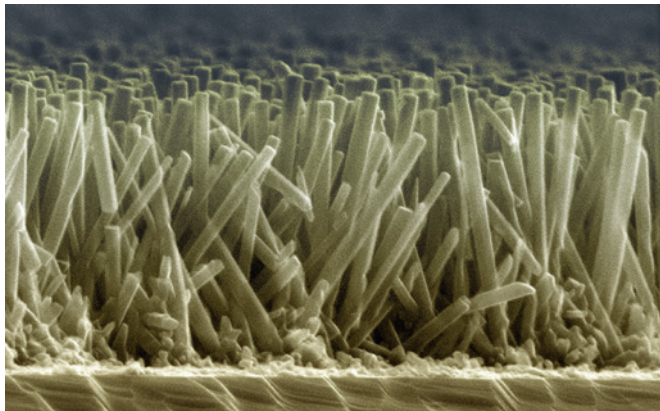
► **Figura 4** Queste immagini mostrano quattro stadi della costruzione di un anello di atomi di ferro su un supporto di rame. Gli scienziati usano la tecnica «top-down» per disporre 48 atomi di ferro in un anello. Le onde circolari apprezzabili nell'ultimo stadio mostrano la densità della superficie elettronica all'interno dell'anello, che agisce da «recinto» per gli elettroni.

Nell'approccio dal basso, «bottom-up», invece, le molecole vengono spinte ad autoassemblarsi secondo lo schema desiderato, usando specifiche interazioni molecolari. In questo caso i nanotubi possono essere sintetizzati in soluzione o in fase vapore ed entrambi permettono di ottenere strati di spessore monomolecolare di differenti materiali. A seconda dell'orientamento delle molecole, secondo specifiche direzioni, i materiali acquisiscono particolari proprietà elettriche e ottiche. Un altro tipo di sintesi utilizzata, sempre come metodo bottom-up, è quella a stampo, che permette di avere disposizioni estremamente regolari di nanotubi metallici.

■ Prospettive e applicazioni

Grazie alle loro piccolissime dimensioni, i nanomateriali mostrano

comportamenti particolari e proprietà molto diverse da quelle dello stesso materiale in scala macroscopica. Il che ne spiega l'importanza. Per prima cosa hanno un rapporto molto elevato tra gli atomi sulla superficie e quelli all'interno, dovuto al fatto che hanno superfici molto



► **Figura 5** Filamenti nanometrici di ossido di zinco.

estese rispetto al volume. Inoltre gli atomi in superficie sono molto reattivi, avendo siti di legame non saturati. Per questo sono ottimi catalizzatori, possono rendere più efficienti gli impianti chimici, migliorare l'efficienza di combustione dei veicoli a motore e promuovere la trazione elettrica tra gli autoveicoli.

Oggi è inoltre possibile produrre film nanometrici in grado di catturare l'energia solare con rendimenti mai avuti prima e costruire celle solari a nanotubi di carbonio, capaci di convertire la luce in elettricità funzionando come una cella fotovoltaica quasi ideale.

I nanotubi di carbonio possono anche essere usati per rendere più forti e resistenti alcuni materiali: hanno, infatti, prestazioni migliori delle fibre di carbonio come elementi di rinforzo dei materiali compositi. Questo grazie alla loro bassa densità e l'elevata capacità di sopportare elevati livelli di deformazione plastica senza fratturarsi.

I nanotubi di carbonio possono anche essere utilizzati come microscopici sensori che assorbono le sostanze inquinanti e vengono usati per il monitoraggio dell'aria. Un al-

tro settore che ha fatto ampiamente uso di nanoparticelle è la cosmesi. Ne sono un esempio i filtri solari prodotti da ossido di zinco e diossido di titanio, sostanze particolarmente efficaci nel filtrare i raggi UV (► Figura 5). Per migliorare la resistenza dei materiali da usura e cor-

rosione, inoltre, al posto dei rivestimenti a base di cromo, dannosi per l'ambiente, stanno trovando ampio spazio i rivestimenti superficiali a base di nanoparticelle.

Un'altra applicazione che riguarda le nanotecnologie è la produzione di materiali per il *packaging*, ma il settore in cui rivestono maggior importanza è l'elettronica: la microelettronica, infatti, è spinta sempre più verso la *nanoelettronica*, per la necessità di produrre elaboratori sempre più veloci, con un numero di componenti elettronici sempre più grandi in un volume sempre più piccolo.

L'unico problema a proposito delle nanotecnologie è la mancanza di una valutazione del loro impatto su ambiente e salute. Non sappiamo se a causa delle loro piccole dimensioni le nanoparticelle possano penetrare nell'organismo e nelle nostre cellule, e addirittura superare la barriera emato-encefalica, e che effetti potrebbero avere. Lascia ben sperare il fatto che le nanoparticelle tendano spontaneamente ad aggregarsi in grumi di dimensioni più grandi, con minor capacità di penetrazione e meno rischi.