

» Dott. Adriano La Vopa MaTech®

Racchetta da tennis Babolat
Nano Stength Technology.

La tecnologia dell'estremamente piccolo

Dal fullerene ai nanotubi



“Perchè non possiamo pensare di scrivere l'intera Enciclopedia Britannica sulla capocchia di uno spillo?”. Questa fu la frase

con cui Richard Feynman, fisico eclettico del California Insitute of Technology, nel 1960 iniziò un ciclo di seminari diretti ai suoi studenti. Nel corso di tali seminari Feynman propose numerose idee innovative, molte delle quali oggi sono una realtà, e tali idee diedero spunto per un nuovo concetto della scienza, ovvero come poter lavorare su scala nanometrica: per poter costruire macchine molecolari, per poter ridurre drasticamente le dimensioni degli apparecchi elettronici, o per poter ricreare artificialmente strutture complesse aggregando gli atomi a nostro piacimento. Era il 1996 quando Sir. Harold W. Kroto, Richard Smalley e Robert F. Culr ricevettero il premio Nobel per la Chimica, per la scoperta delle cosiddette *Bucky balls*. Con questo nome sono state successivamente battezzate le molecole di fullerene o *buckminsterfullerenes*, scoperte

dal gruppo di ricercatori e assomiglianti alla struttura delle cupole geodetiche dell'architetto R. Buckminster Fuller. La scoperta del fullerene fu del tutto casuale. Il professor Kroto, nel 1985, stava studiando una maniera di riprodurre le strutture molecolari presenti nello spazio interstellare, quando si accorse che il prodotto fuliginoso proveniente dalla scarica di un arco elettrico tra due barrette di grafite, dava come risultato una gran quantità di molecole sferiche, formate di 60 atomi di carbonio aggregati. Se si pensa ad un pallone da calcio, si ha esattamente l'idea di quella che è la struttura più semplice della molecola del carbonio sessanta (C_{60}), ovvero i sessanta atomi di carbonio di cui sopra, legati assieme a formare una palla vera e propria, di dodici pentagoni e venti esagoni. Gli atomi sono tenuti insieme

da legami covalenti singoli, nel caso di atomi appartenenti ai pentagoni e legami covalenti doppi, nel caso di atomi appartenenti agli esagoni. Della stessa semplicità sono i diretti derivati dei fullereni, ovvero quelli che comunemente vengono chiamati *nanotubi*. Tale parola può suscitare ilarità quando pronunciata, ma ciò che questi agglomerati di atomi formano, sono proprio dei tubi di diametri nanometrici, da cui il nome. Infatti, considerando che i fullereni hanno diverse forme e diverse quantità di atomi, allungando la struttura centrale del fullerene, è possibile arrivare ad una molecola oblunga. Se detta molecola avesse piuttosto che pentagoni ed esagoni, solamente una struttura centrale ad esagoni, avremmo il nanotubo. La maniera più semplice per capire come è strutturato un nanotubo è pensare ad un foglio di carta. A seconda di come esso viene piegato, si possono avere tre diversi tipi di nanotubo: armchair piegando il foglio orizzontalmente, zig-zag piegando il foglio verticalmente, e chiral piegando il foglio da un angolo all'altro. I nanotubi possono essere differenziati in nanotubi a struttura unica, ovvero un nanotubo a strato unico, meglio identificato come Single Wall NanoTube (SWNT); e nanotubi a struttura multipla, ovvero nanotubi coassiali con diametri diversi, meglio detti Multi Wall NanoTubes (MWNTs). Come si può ben intuire da quanto appena detto, quando si parla di fullereni e nanotubi si parla di strutture con grandezze nanometriche, e quindi è del tutto lecito parlare di una scoperta tanto strabiliante quanto innovativa nell'ambito delle nanotecnologie.

Tecnologie di produzione e caratteristiche

Una volta capita quale sia la struttura del fullerene e quale quella del nanotubi, si può passare alle tecnologie produttive, che sono ben diverse da quelle descritte per spiegare la loro struttura. Infatti non è pensabile poter arrotolare un foglio di carta per farne combaciare i lati, ed ottenere il nanotubo. Si pensi a quanto detto a proposito della scoperta accidentale del fullerene, ovvero la scarica tra le barrette di grafite, che produceva le molecole di C_{60} . Le tecniche più utilizzate nei laboratori e nelle catene di produzione, sono basate su metodologie elettro-ottiche, ad esempio utilizzando laser, e

Nanotubi in carbonio,
come appaiono a occhio nudo.

Nissan X-Trail, un fuoristrada sportivo
i cui paraurti sono in materiale
polimerico termoindurente rinforzato
con nanotubi in carbonio.



chimiche, ad esempio per pirolisi. La sintesi di fullereni e nanotubi è basata su processi, più o meno complessi, di vaporizzazione del carbonio presente in materiali massivi. Le caratteristiche principali dei nanotubi e dei fullereni sono molto utili in diverse aree e per svariate applicazioni, come si vedrà più avanti. Essi hanno proprietà meccaniche strabilianti. Sono estremamente resistenti, infatti hanno un modulo di Young estremamente elevato. Si pensi che un nanotubo MWNT può avere un valore di $E \sim 1800$ GPa, mentre l'acciaio inossidabile in commercio si aggira intorno ai 210 GPa. Inoltre hanno un'elevatissima resistenza alla trazione e alla compressione, siamo su valori di circa 45 GPa, rispetto alle leghe esistenti in commercio che arrivano a circa 2GPa. Sono molto flessibili e resistenti alla rottura. Se si passa alle proprietà fisiche si possono avere dei valori di conducibilità termica di circa $6000 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$, contro i $3320 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$ del diamante. Mentre la conducibilità elettrica è di $10^9 \text{ A}\cdot\text{cm}^2$, contro i $10^6 \text{ A}\cdot\text{cm}^2$ del rame, che è considerato uno dei migliori conduttori elettrici in commercio. Hanno ottime proprietà ottiche, riescono a generare armoniche di ordine superiore, sono dotati di elevata luminescenza (dall'UV al VIS), o possono essere utilizzati come limitatori d'onda, potendo assorbire alcune lunghezze d'onda (ad esempio in accoppiamento con laser ad elevata potenza). Grazie a tali proprietà i nanotubi possono essere anche

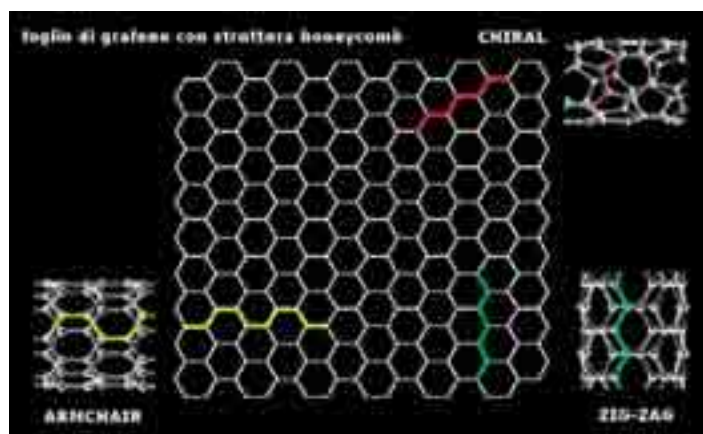
utilizzati come conduttori e come semiconduttori, e in più, grazie alla loro eccellente reattività, possono essere drogati con altri atomi. Qualora si volessero evidenziare anche proprietà chimiche e biochimiche, si avrebbero dei materiali altamente biocompatibili, quindi tollerati dal corpo umano. Hanno proprietà di elevata capillarità, avendo dei diametri di pochi nanometri, ed hanno una superficie molto reattiva, quindi potrebbero essere utilizzati per attaccarvi altri atomi o molecole.

Applicazioni

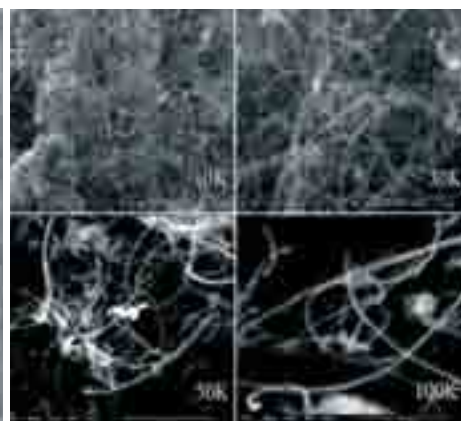
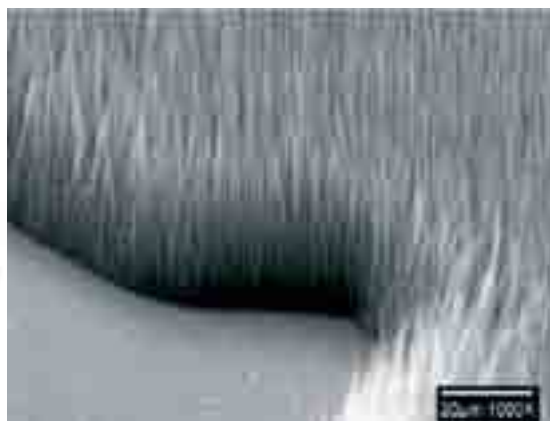
Ripercorrendo un attimo quanto appena descritto nel paragrafo precedente, si può facilmente intuire quali siano le potenziali applicazioni dei nanotubi e dei fullereni. Molte sono attualmente state sperimentate e brevettate (più di 200 brevetti depositati), mentre altrettante sono in fase di studio. Nel campo dei polimeri si sono create strutture nanocomposite rinforzate, quindi molto più resistenti dei normali polimeri compositi. Possono essere creati polimeri che siano utili nei settori che producano ritardanti di fiamma, o che utilizzino le proprietà dei nanotubi per sviluppare dei dissipatori termici. Ed ultimi e stravolgenti ritrovati, i polimeri conduttori, nei quali disperdendo nanotubi o fullereni, si possono creare dei polimeri che siano capaci di condurre elettricità, e quindi



Molecola del fullerene C₆₀.



Esempio di arrotolamento dei nanotubi in carbonio partendo dal foglio di grafene a struttura honeycomb.



Nanotubi Multi Wall. Fasci di Nanotubi visti al microscopio elettronico.

estremamente interessanti per il settore dell'elettronica. In campo energetico si può pensare agli elettrodi delle batterie, infatti si stanno creando batterie ultraleggere che contengano degli elettroliti solidi, invece che liquidi. Si possono creare i cosiddetti elettrodi freddi, avendo i nanotubi notevoli capacità di dissipazione del calore. Gli studi avanzati nell'ambito delle celle a combustibile (fuel cells), vedono possibili applicazioni come dispositivi di stoccaggio. In campo elettronico possono essere sfruttati per la creazione di nanocircuiti integrati, o per i display a emissione di campo (FED – Field Emission Display). Potrebbero essere utili per la creazione di dispositivi di interconnessione, al posto dei circuiti stampati. Sarebbero utili per lampade a bassissimo consumo, potendo produrre luce scaldando il filamento a basse temperature e con basse energie. In campo medico sono in fase di studio sistemi di trasporto e rilascio di farmaci. Infatti all'interno dei fullereni e dei nanotubi, o sulla loro superficie esterna, si possono creare delle strutture molecolari complesse che diventano veicoli per portare farmaci in specifiche zone del corpo umano. Una delle applicazioni più interessanti del fullerene è la potenzialità di inibitore del virus dell'HIV, ovvero funzionando come una gabbia che lo intrappoli e ne inibisca l'azione dannosa. Altra applicazione in fase di studio avanzato sono le fibre muscolari artificiali, avendo i nanotubi tutte le caratteristiche tipiche dei muscoli, ovvero conducibilità elettrica, elasticità ed elevata resistenza. Di quanto succitato, però, molte applicazioni sono in fase di studio, mentre altre sono particolarmente interessanti e già consolidate nelle tecnologie presenti sul mercato. Una realtà sono i polimeri rinforzati nanocompositi, e vi sono anche alcuni metalli in cui sono stati dispersi nanotubi che ne enfatizzano le proprietà meccaniche. Tali polimeri trovano ampio utilizzo nelle racchette da tennis della Babolat. Altre applicazioni dei polimeri rinforzati con nanotubi sono state presentate nella Nissan X-Trail sport, per i paraurti di una macchina sportiva. D'altra parte i laboratori della IBM hanno

elaborato il primo prototipo di transistor a nanotubo, sulla base dei diodi a nanotubo, dove due nanotubi, funzionando da semiconduttori, possono essere drogati e utilizzati esattamente come ottimo rimpiazzo del silicio e del germanio. Mentre altre entità come la Nantero stanno mettendo a punto un prototipo per l'immagazzinamento dei dati, che prevede delle capacità di storage di gran lunga migliori dei DVD, o delle moderne memorie a semiconduttore.

Problematiche e costi

Un problema non indifferente è la difficoltà di produzione dei nanotubi e dei fullereni. Come si è visto, le tecniche per produrli limitandone i costi sono molto grossolane, e il prodotto è pressoché impuro, perciò potrebbe presentare dei problemi quando applicato. Una delle problematiche più evidenti è appunto la purificazione dei prodotti. Infatti i processi di purificazione hanno un elevato grado di danneggiamento della struttura dei prodotti, rendendoli ovviamente inutilizzabili (quasi l'80% viene scartato). Inoltre possono essere prodotti solo in fasci, quindi non singolarmente, e aggregando arbitrariamente gli atomi; i parametri di controllo sono perciò molto inefficienti. Altro problema, strettamente legato alla produzione, sono i costi. Richiedere migliore qualità dal prodotto finito, implica inevitabilmente un elevato costo di produzione. Oggigiorno per avere un grammo di nanotubi si possono spendere cifre oltre i 1400 €, mentre per un grammo di fullereni si è tra i 60 e i 70 €. La tecnologia di fullereni e nanotubi ha letteralmente rivoluzionato la scienza, spingendola allo studio a livello nanometrico di nuovi materiali e nuovi composti, che esibiscano proprietà sorprendenti. L'impatto che le nanotecnologie hanno sul mercato è estremamente forte e di richiamo. Il trasferimento tecnologico è in atto, e molte sono le aziende che si stanno affacciando al meraviglioso e affascinante mondo dell'estremamente piccolo. ■