

Le mille facce del carbonio

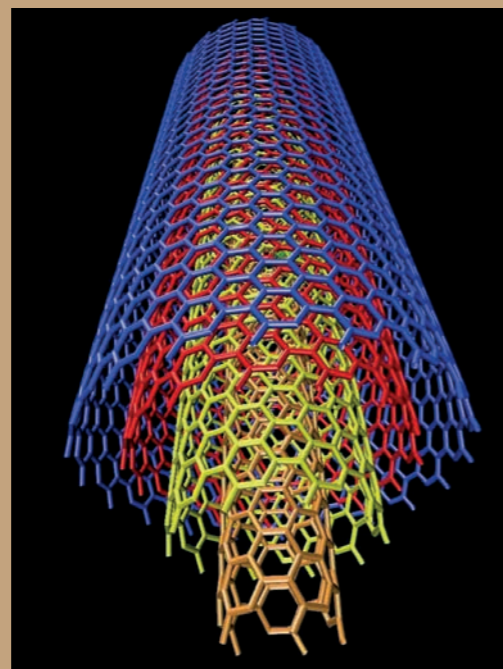
Continue sorprese da uno dei mattoni fondamentali

di Guglielmo Lanzani

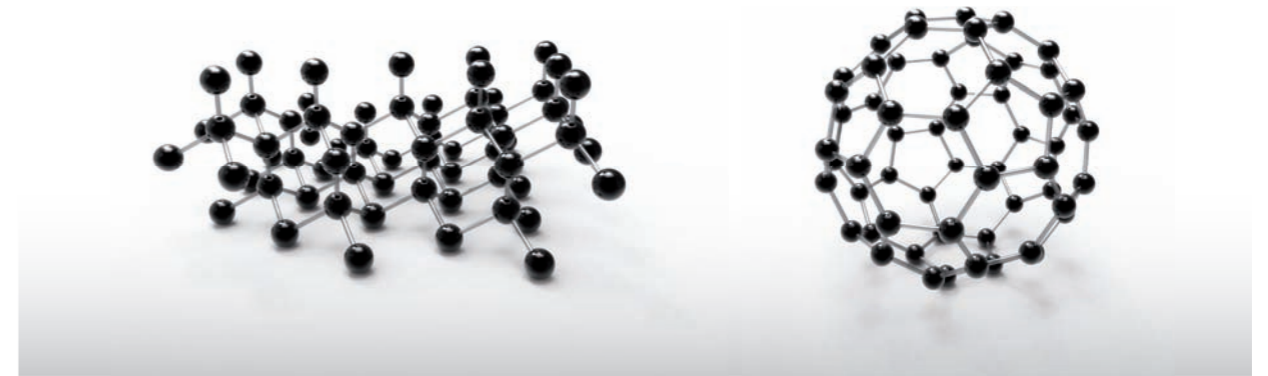
La natura della materia organica, unica al punto da permettere di sfruttare la luce del sole nella fotosintesi vegetale o dell'ossigeno dell'atmosfera nella respirazione animale, si deve in particolare alla presenza di un elemento: il carbonio. Degli oltre 90 atomi riscontrabili in natura, il carbonio è infatti l'unico atomo a essere presente in tutte le molecole organiche, caratterizzandone l'attitudine a stabilire legami e a dare forma a strutture molecolari complesse. Quarto elemento più abbondante nell'universo in termini di massa, dopo idrogeno, elio e ossigeno, nel corpo umano l'abbondanza del carbonio è seconda solo a quella dell'ossigeno.

L'origine della particolare versatilità dell'atomo di carbonio è nella sua caratteristica plasticità "chimica", ossia nell'attitudine a stabilire legami chimici di tipo diverso sia con altri atomi di carbonio sia con altri elementi. Per questa ragione sono milioni i composti organici che hanno nella loro struttura uno scheletro di atomi di carbonio. E per questa stessa ragione il carbonio si trova in natura in forme diverse, o *allotropiche*, con strutture chimiche ben definite, caratterizzate da diversi legami tra gli atomi: il *diamante*, la *grafite*, il *fullerene* e i *nanotubi* di carbonio (vd. fig. b). Se nel diamante ogni atomo di carbonio è legato ad altri quattro atomi disposti ai vertici di un tetraedro, secondo una struttura che garantisce al cristallo la peculiare durezza, nella grafite e nel fullerene ogni atomo di carbonio è legato ad altri tre atomi. Le strutture sono planari nel caso della

grafite, collegate tra loro da deboli forze, mentre nel fullerene sono icosaedriche, formate da un reticolo di 60 atomi di carbonio legati in modo da formare 12 facce pentagonali e 20 facce esagonali. Esistono inoltre strutture cilindriche del diametro di circa 1 nanometro (10.000 volte più sottili di un capello) fatte interamente di atomi di carbonio e dette nanotubi, che possono essere immaginate come fogli di *grafene* (un solo strato di grafite) arrotolati (vd. fig. a).

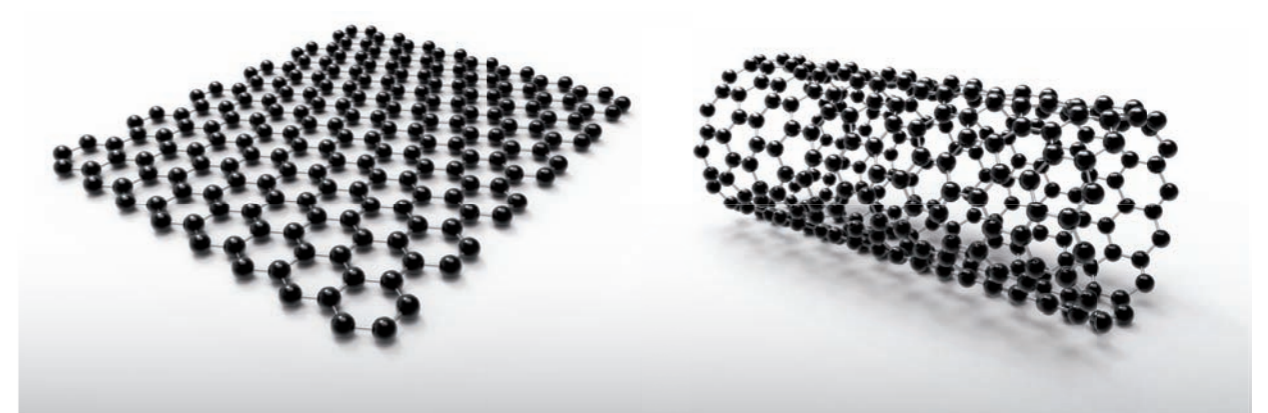


a. Modello 3D di un nanotubo di carbonio a parete multipla. La natura dei legami tra gli atomi di carbonio e il rapporto tra il diametro e la lunghezza (di circa 100 volte superiore) di queste strutture nanometriche conferisce loro proprietà strutturali e di conduzione elettrica molto peculiari.



diamante

fullerene



grafene

nanotubo

b. Le forme allotropiche del carbonio: il diamante, il fullerene, la grafite (è raffigurato un solo strato, ossia il grafene) e la struttura a nanotubo.

[as] approfondimento

La grafite che salva la vita

Quando sotto la guida di Umberto Nobile il dirigibile "Italia" perse il controllo e si schiantò sui ghiacci del Polo Nord nel 1928, una parte dell'equipaggio e della strumentazione finì sulla banchisa, dove fu montata la famosa tenda rossa. Tra i superstiti c'erano fortunatamente il marconista e la sua radio, che tuttavia non funzionava. Mancava il componente indispensabile per selezionare il canale di trasmissione corretta: la resistenza variabile. A temperature sotto lo zero e a decine di migliaia di chilometri da qualsiasi forma di vita umana, procurarsi una resistenza variabile non sembrava davvero possibile. Nessun aiuto naturalmente da parte degli orsi che pure giravano curiosi attorno alla tenda. La salvezza venne da una matita, semplice e umile cilindro di grafite rivestito di legno. Fu così che, depositando uno strato di grafite di spessore variabile, il marconista poté disegnare la resistenza che gli serviva e, come nelle migliori favole, darle vita per chiamare i soccorsi. Ecco la prova: la grafite conduce.

1. Umberto Nobile sul dirigibile "Italia" nell'aprile del 1928.



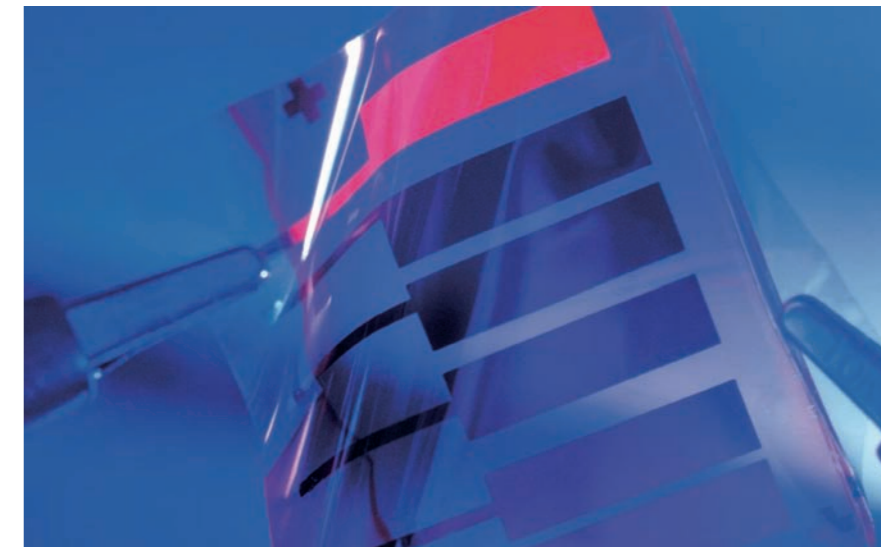


c.
I colori delle piume degli uccelli, come quelli delle foglie, di molti fiori e dei frutti, sono dovuti ai composti poli-coniugati, nei quali i legami tra gli atomi di carbonio sono tali da liberare elettroni lungo tutta la molecola, quando sollecitati con i fotoni.

La formazione di queste strutture dipende fortemente dalla distribuzione degli elettroni sugli orbitali intorno al nucleo del carbonio e dal tipo di legame che questa distribuzione consente tra atomi diversi. Condizionando la mobilità degli elettroni lungo le strutture molecolari, la natura dei legami definisce inoltre le proprietà di conducibilità elettrica di questi materiali. Nel carbonio i sei elettroni dell'atomo sono normalmente distribuiti su orbitali di forma diversa: quattro elettroni si trovano sugli orbitali più vicini al nucleo, di forma sferica, mentre i due più esterni si muovono su orbitali chiamati *di tipo p*, di forma ovale, allungati come petali. Questa distribuzione rende possibili legami tra gli atomi tali da lasciare gli elettroni sufficientemente liberi di muoversi all'interno della struttura molecolare, dando origine a materiali con particolarissime proprietà di conducibilità e grande risposta all'irraggiamento da parte dei fotoni. Nella grafite, nel grafene, nel fullerene, nei nanotubi di carbonio e nelle molecole coniugate (delle quali si parlerà in seguito) un

elettrone *p* per atomo è libero di muoversi, messo in compartecipazione con tutti gli altri atomi. In questi sistemi, che con l'esclusione della grafite sono tutti materiali semiconduttori, un fotone nel "visibile" è sufficiente per eccitare un elettrone, ed è facile passare dallo stato isolante a quello conduttore. La grafite è invece un vero e proprio conduttore (vd. approfondimento p. 47, ndr), sebbene povero di elettroni, e per questo è incluso tra i semi-metalli. Il caso del diamante è completamente diverso. In questa struttura gli elettroni degli atomi di carbonio hanno legami molto forti con il nucleo atomico e serve un'energia molto elevata per allontanarli. Per questo il diamante è duro, trasparente e non conduttore. In generale, la mobilità elettronica associata alla conduzione elettrica è anche responsabile della risposta ottica, la risposta cioè alle sollecitazioni della luce. In natura molti composti che interagiscono con la luce sono a base di carbonio e si dicono *poli-coniugati*, per sottolineare quel particolare legame chimico che libera elettroni lungo tutta la molecola.

d.
Immagine di un dispositivo di tipo "plastic fantastic" sospeso tra due elettrodi. I materiali plastic fantastic hanno le stesse proprietà di conduzione elettrica di semiconduttori come il silicio, ma sono caratterizzati da proprietà meccaniche tipiche della plastica. Questo li rende molto più flessibili all'impiego in contesti e per obiettivi diversi, dall'illuminazione domestica ai dispositivi tv, schermi e smartphone. Nella figura parte del dispositivo si illumina di colore rosso al passaggio della corrente.



I colori delle foglie, di molti fiori, dei frutti e delle verdure e delle piume degli animali sono dovuti a composti di questo tipo. Il campo elettrico della luce visibile oscilla infatti a frequenze tali da poter mettere in moto gli elettroni liberi delle molecole coniugate e indurre una risposta ottica, con fenomeni di assorbimento (su bande di frequenza caratteristiche), emissione e diffusione della luce. L'interazione con la luce è quindi una delle caratteristiche principali di questi composti, che la tecnologia cerca di sfruttare. Da questo punto di vista le molecole organiche coniugate sono molto più reattive del silicio comunemente impiegato nei dispositivi fotosensibili, che è grigio nerastro, assorbe tutto lo spettro visibile ma non emette. Oltre alle proprietà elettriche, i sistemi coniugati hanno anche proprietà meccaniche interessanti e questo li rende particolarmente flessibili all'utilizzo in contesti molto diversi. Il motivo del successo commerciale dei polimeri

coniugati, ad esempio, risiede nella possibilità di integrare in un solo materiale le caratteristiche elettriche dei semiconduttori con le proprietà meccaniche della plastica. Gli Oled (Organic Light Emitting Device), questo il nome tecnico, sono uno tra i maggiori successi tecnologici presenti in molti prodotti ora sul mercato. Appartengono allo stesso ambito di sviluppo delle celle fotovoltaiche su substrato di plastica (*plastic fantastic*) che si apprestano a fare la loro comparsa sul mercato, mentre è molto più recente l'attività di ricerca che si occupa dello sviluppo di sistemi artificiali di comunicazione tra cellule e semiconduttori organici per le tecnologie umanoidi. Lo scopo in questo caso è lo sviluppo di nuovi materiali in grado di permettere funzioni di tipo basilare ai robot umanoidi, come la locomozione, la manipolazione, la percezione, la comunicazione con gli umani, l'interazione con l'ambiente e, in particolare, la capacità di immagazzinare energia ricavandola dall'ambiente circostante.

Biografia

Guglielmo Lanzani è professore di Fisica presso il Politecnico di Milano e dal 2009 direttore del Centro per la Nanoscienza e Tecnologia (Cnst) dell'Istituto Italiano di Tecnologia. Studia da più di vent'anni i semiconduttori organici.

Link sul web

<http://cnst.iit.it/>