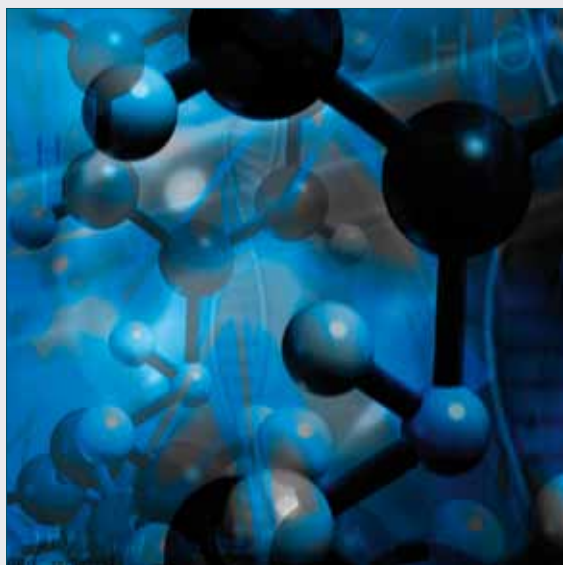




Luigi Campanella, Dalina Lelo
Dipartimento di Chimica
Università di Roma "La Sapienza"
luigi.campanella@uniroma1.it

LE NANOTECNOLOGIE: MODELLI, PROGRESSI, CAMPI DI APPLICAZIONI E SVILUPPI FUTURI

I materiali sono necessari per costruire oggetti che soddisfano i bisogni dell'uomo. È molto importante sottolineare gli usi a cui sono destinati i materiali sia tradizionali che innovativi che vengono sperimentati continuamente.

Le nanotecnologie nascono come tentativo di risposta tecnologica a questioni sollevate in contesti anche diversi, quando si è compreso da un lato che la miniaturizzazione spinta sollevava importanti interrogativi sul comportamento della materia a quelle scale e dall'altro che notevoli erano le potenzialità offerte da una miniaturizzazione sempre più spinta.

Il termine "nanotecnologia" fu utilizzato per la prima volta nel 1974 da Norio Taniguchi dell'Università di Tokyo per indicare la lavorazione di materiali con precisioni nanometriche.

Le nanotecnologie sono un approccio multidisciplinare alla realizzazione di materiali, dispositivi e sistemi nei quali almeno una delle tre dimensioni caratteristiche (altezza, lunghezza, profondità) è sulla scala del nanometro. Di conseguenza si definisce nanostrutturato un materiale le cui proprietà dipendono da parti di esso con almeno una delle tre dimensioni su scala nanometrica. Tali componenti sono dette nanostrutture. Se ci si spinge a considerare un oggetto costituito da una manciata di atomi, anche la rimozione o l'aggiunta di un solo atomo può causare importanti variazioni nelle sue proprietà a causa di fenomeni quantistici. Questa differenza è in relazione al numero di atomi che si trovano sulla superficie rispetto al totale degli atomi che costituiscono l'oggetto nanometrico. Più si riduce la dimensione dell'oggetto,

maggiore diventa il numero di atomi di superficie rispetto al totale. Il ruolo degli atomi di superficie nel determinare caratteristiche peculiari dipende dal fatto che il legame chimico che li coinvolge nel solido è di struttura diversa, per questioni di simmetria, rispetto a quello che interessa gli atomi più interni.

L'industria elettronica ha dato la spinta verso la miniaturizzazione dei dispositivi e calcolatori di potenza inimmaginabile qualche decennio fa, ora esistono e occupano poco più che lo spazio di un'agenda. Il cuore di tali dispositivi elettronici è il transistor, un elemento ottenuto dall'unione con geometrie e forme opportune, di tipi diversi di semiconduttori, materiali che per le loro proprietà elettriche sono collocati come intermedi fra conduttori e isolanti, per esempio silicio, su cui è basata tutta l'industria elettronica, germanio, arseniuro di gallio. Tanto più piccolo è il transistor, tanto maggiore è il numero di essi che può essere integrato in un dispositivo.

Applicazioni tecnologiche

Nel 1965 il cofondatore della Intel, Gordon Moore, osservò che il numero di transistor in un chip di computer raddoppiava ogni 18 mesi, grazie alla miniaturizzazione. Fino agli anni 2000 la "legge di Moore" è sempre stata verificata. Oggi i transistor dentro i circuiti integrati sono di dimensioni submicrometriche e uno dei tre elementi di base, quello di gate di un transistor MOS (Metal-Oxide-Semiconductor), ha dimensioni inferiori ai 200 nm. All'aumento di potenza dei calcolatori corrisponde la capacità di memorizzare informazioni. I dati digitali sono codificati in opportune sequenze di bit il cui valore è di 0 o 1, per cui memorizzare dati significa "scrivere zeri e uno" su opportuni supporti, come per esempio i sistemi ottici (CD o DVD). I bit sono fisicamente realizzati creando sul supporto zone opache e zone riflettenti. Il laser preposto alla lettura del dato sarà riflesso e opportunamente rivelato da una zona riflettente mentre sarà assorbito da una zona opaca: il primo caso sarà riconosciuto come uno il secondo come zero. La quantità delle informazioni dipende quindi dalla dimensione delle zone opache riflettenti: tanto più piccole sono tanto maggiore sarà il numero di dati memorizzati, cioè la densità delle informazioni. Si parla di dimensioni di alcune centinaia di nanometri con la tendenza a un'ulteriore riduzione. La riduzione della dimensione fisica delle zone opache e riflettenti impone la riduzione della lunghezza d'onda della luce laser usata per eseguirne la lettura, in pratica il colore, che deve essere sempre più verso il blu. Quindi ciò solleva complessi problemi sul fronte della realizzazione dei laser di lettura, ma anche un'esigenza legata al fenomeno della diffrazione che impedisce di distinguere due oggetti se la distanza che li separa e la loro stessa dimensione sono inferiori alla lunghezza d'onda impiegata per eseguire l'osservazione. In ottica questo fatto è noto come limite rifrattivo.

Lo stesso discorso vale per i supporti magnetici: l'aumento della densità di informazione dipende dalla riduzione delle dimensioni dei bit fisici. In questo caso si tratta di particelle di materiale ferromagnetico (ossidi di ferro o di cromo) tipicamente in grado di orientarsi opportunamente sotto l'azione di un campo magnetico esterno. In questo contesto la miniaturizzazione alle scale nanometriche solleva interessanti problemi fisici, i principali dei quali sono la coalescenza delle particelle e i movimenti casuali dovuti all'interazione termica. Il primo consiste nel fatto che due nanoparticelle poste a contatto fra loro possono unirsi a formare un'unica particella, un po' come due gocce d'acqua quando si toccano; il secondo consiste nell'impossibilità di mantenere un'orientazione definita a causa del movimento continuo che agita la materia alle scale microscopiche, anche alla temperatura ambiente.

Un altro settore che guarda con interesse le nanotecnologie è l'industria chimica per quanto riguarda la catalisi. Un catalizzatore è una specie chimica dalle caratteristiche peculiari, generalmente un metallo di transizione che favorisce le reazioni chimiche senza prendervi parte. Un esempio è il catalizzatore presente all'interno delle marmitte catalitiche, il cui ruolo è completare l'ossidazione degli idrocarburi parzialmente incombusti a CO₂ non pericolosa, limitando l'emissione di CO, velenoso, nonché limitare l'emissione di NO_x. Tipicamente i ca-

talizzatori sono realizzati in forma di piccole particelle o in forma di film sottile che ricopre piccole particelle di supporto in materiale inerte, per esempio ceramico. Il vantaggio offerto dall'uso di piccole particelle risiede nel fatto che, a parità di quantità di materiale, tanto minore è la dimensione delle particelle tanto maggiore è la superficie disponibile alla reazione chimica. A parità di superficie complessiva, il materiale in forma di piccole particelle sarà di quantità inferiore al materiale in forma di particelle più grandi, il che, considerando il costo dei metalli in uso, spesso elevato, comporta un risparmio di materiale molto importante. Le celle a combustibile (fuel cells), dispositivi elettrochimici in grado di generare energia elettrica attraverso ossidazione di un opportuno combustibile, sono un esempio paradigmatico dei benefici che porta un approccio nanotecnologico di importanza cruciale. Gli elettrodi a carbonio nanoporoso (materiale poroso con dimensione nanometrica dei pori) hanno un'enorme superficie esposta ai gas reagenti che può superare i 1.000 m²/g di materiale. Le particelle di catalizzatore di palladio prodotte in dimensioni nanometriche, possono essere disperse limitando, a parità di superficie catalitica, il componente più costoso e sono poste nello spazio in modo regolare a formare quello che si definisce reticolo cristallino. In un cristallo macroscopico, la regolarità del reticolo cristallino si estende alle dimensioni di tutto il solido: in questo caso si parla di un monocristallo. Ecco perché i cristalli più sono grandi e più sono preziosi. I materiali solidi sono costituiti dall'unione di innumerevoli monocristalli microscopici. Si parla in questo caso di policristalli. La dimensione dei singoli monocristalli è micrometrica. Un nanocristallo è un cristallo in cui la regolarità del reticolo cristallino si estende nello spazio per pochi nanometri, un solido nanocristallino è l'insieme di innumerevoli nanocristalli.

Invece nei solidi porosi si hanno solidi microporosi e solidi nanoporosi a seconda della dimensione dei pori. Conoscere la scala della porosità diventa importante se il solido interagisce con specie gassose e soluzioni, come nella totalità delle applicazioni legate alla catalisi. Per esempio un elettrodo poroso immerso in una soluzione durante un processo elettrochimico dimostra che quando la sua porosità è subnanometrica gli ioni solvatati (ioni che in soluzione si trovano circondati da molecole di solvente) di dimensioni nanometriche, non sono in grado di accedere ai pori. La superficie disponibile per la reazione è semplicemente l'area geometrica esposta alla soluzione. Se viceversa la dimensione dei pori è confrontabile con quella dello ione solvatato allora questo può accedere ai pori e la superficie realmente interessata dalla reazione è molto maggiore dell'area geometrica.

Gli strumenti per scopi e applicazioni nanotecnologiche

L'osservazione di oggetti di dimensioni confrontabili con la lunghezza d'onda è impedita dalla diffrazione. Oggetti di dimensione inferiore a qualche centinaia di nanometri non sono osservabili, in quanto non perturbano in alcun modo l'onda e risultano invisibili. Il microscopio ottico soffre di un limite fisico imposto dalle leggi dell'ottica che impedisce di ingrandire più di 100 o 200 volte.

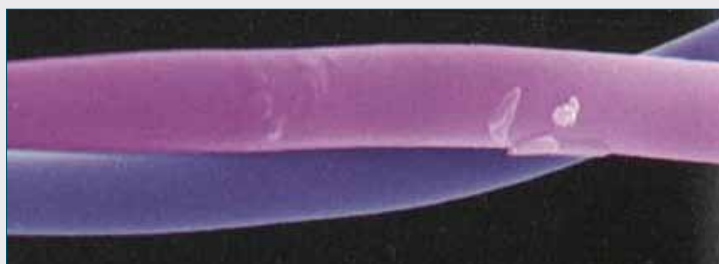


Fig. 1 - Nanotubi di carbonio al SEM di carbonio vetrificato

Invece con il microscopio elettronico questo è possibile: ne esistono di tipo SEM (Scanning Electron Microscope) e TEM (Transmission Electron Microscope). I microscopi elettronici si presentano come complessi sistemi costituiti da camere ad alto vuoto, dispositivi dalle pareti di acciaio all'interno dei quali l'aria è completamente rimossa mediante pompe da vuoto.

Il SEM consente ingrandimenti fino a centinaia di migliaia di volte, con risoluzione di pochi nanometri, è ideale per campioni di materiali conduttori, richiede metallizzazione del campione. Invece il principio di funzionamento di TEM è simile a quello di un proiettore per diapositive. Rispetto al SEM il TEM consente ingrandimenti maggiori. Grazie all'evoluzione della tecnologia elettronica informatica e micromeccanica e tecniche del vuoto a partire dagli anni Ottanta è stata sviluppata una classe completamente nuova di microscopi, quelli a scansione di sonda (Scanning Probe Microscopes, SPM, AFM Atomic Force Microscope e STM Scanning Tunneling Microscope). Sono strumenti di un'enorme potenza, consentono la visualizzazione di singoli atomi. Il posizionamento della punta di questi strumenti per il controllo di singoli atomi rappresenta il punto più estremo di codificare informazione binaria che si presenta come una sequenza di zero e uno: i bit fisici corrispondono a presenza dell'atomo come uno, assenza dell'atomo come zero in una sorta di scheda perforata nanometrica.

I processi che portano alla sintesi di nanoparticelle sono classificati in due tipologie:

- a) dall'alto verso il basso: di questa categoria fanno parte i processi tipici della microelettronica che producono nanostrutture rimuovendo materiale da parti macroscopiche, dall'alto in basso;
- b) dal basso verso l'alto: di questa categoria fanno parte i processi che assemblano nanostrutture preformate a guisa di mattoni fondamentali.

Nanoparticelle

La sintesi di nanoparticelle a partire da precursori in fase atomica-molecolare si basa sostanzialmente sulla loro aggregazione controllata. Il processo è molto simile a ciò che si verifica quando il vapor d'acqua condensa in piccole goccioline e forma la nebbia.

Dal punto di vista fisico sono importanti due condizioni: una quantità sufficientemente elevata di atomi in fase gassosa, un opportuno bagno termico entro cui gli atomi possono raffreddarsi, e quindi ne viene permessa l'aggregazione.

Ottenere una quantità elevata di precursori in fase gassosa è semplice quando si ha a che fare con elementi a basso punto di ebollizione,



Fig. 2 - Cristalli di grafite all'interno di una cavità Il cristallo ha la forma attorno ettagonale

come per esempio metalli alcalini o materiali organici, per i quali basta un semplice riscaldatore elettrico. Invece quando si vuole ottenere nanoparticelle di metalli ad elevato punto di ebollizione o materiali refrattari, come il carbonio, il problema è più complicato. I metodi che si adottano per ottenere una quantità sufficientemente elevata di atomi precursori sono tre: vaporizzazione laser, arco elettrico, bombardamento ionico (sputtering). Gli atomi liberati vengono posti a contatto con gas inerte che funge da bagno termico all'interno del quale si ha la formazione delle nanoparticelle.

La scoperta del C_{60} è venuta nel 1996 (ed è valse il premio Nobel per la chimica a Richard Smalley, Harold Kroto, e Robert Curl). Attorno ai nanotubi (Fig. 1) è cresciuto un grande interesse stimolato dalle loro possibili applicazioni. I lavori più importanti hanno portato alla scoperta di C_{60} (una particolare nanoparticella chiamata buckminsterfullerene di dimensioni 0,7 nm con la forma classica del pallone di calcio icosaedro troncato). La sintesi di nanotubi si ottiene tramite un arco elettrico innescato tra due barrette di grafite (Fig. 2) in presenza di polvere metallica oppure di nichel che fungono da catalizzatore, in atmosfera inerte. L'anodo è eroso, mentre sopra il catodo si raccoglie un deposito grigiastro costituito da matasse di nanotubi di carbonio intrecciati. Un metodo alternativo sfrutta la decomposizione di precursori molecolari organici sopra substrati mantenuti ad alta temperatura, ricoperti da particelle di nichel. Il nanotubo cresce in modo ordinato sopra la nanoparticella di nichel, la cui dimensione determina il diametro del nanotubo. Il carbone è un elemento di grande importanza e i nanotubi di carbone hanno ottime caratteristiche di conducibilità elettrica fra diversi strati che permettono la dissipazione del calore. Possono essere usati allineati su opportuni substrati e possono essere impiegati nella realizzazione di schemi ultrapiatti (Flat Panel Display, FPD): hanno capacità di emettere elettroni per l'effetto di campo e di eccitare dei fosfori che emettono la luce. Sulla base di questo è possibile produrre schermi a cristalli liquidi spessi come un foglio di carta. Inoltre le proprietà di C_{60} e delle sostanze di struttura organica possono dare il loro contributo in processi come la produzione dell'idrogeno (L. Campanella, D. Lelo, Ph.D, tesi del dottorato, AA 2009).

Grande importanza dal punto di vista nanotecnologico hanno i film sottili. Si tratta di strati atomici o molecolari, supportati da opportuni substrati con spessore di poche decine di nanometri. Trovano impiego in: ricoprimenti duri per applicazioni in tribologia, scienza che studia gli attriti e la meccanica nell'ottica per la produzione di dispositivi elet-

tronici integrati nei quali la tecnologia dei film sottili è affiancata dalle tecniche litografiche.

L'elettronica è stato il primo settore tecnologico ad affrontare le problematiche sollevate dalla gestione della materia alle scale nanometriche. La miniaturizzazione è un processo perfettamente lecito, l'ipotesi del continuo all'occhio, ma costituita da tanti punti colorati se osservata con una lente (Fig. 3). La miniaturizzazione è arrivata alle scale di granularità della materia con i problemi tecnologici. I minuscoli conduttori in alluminio di circuiti integrati soffrono il fenomeno della elettromigrazione; atomi di alluminio sono strappati dalla loro sede dal flusso di elettroni. Per eliminare questo problema si sostituisce l'alluminio con rame. Alle scale nanometriche gli elettroni hanno le caratteristiche ondulatorie (meccanica quantistica). Quindi si parla di elettronica fondata sulle proprietà quantistiche della materia alla base del calcolatore *quantum computing*, come le proprietà magnetiche dell'elettrone, momento spin: questa disciplina si chiama "spintronica". I circuiti integrati realizzati da film sottili hanno una struttura non planare ma estesa a tre dimensioni.

Applicazioni e potenzialità

La tecnologia dei film sottili è impiegata per modificare le caratteristiche fisiche delle superfici dei materiali e non quelle estetiche.

La metallizzazione dei materiali plastici è un processo utilizzato nel ciclo produttivo di molti oggetti che ci circondano, da cover dei cellulari, a moltissimi elettrodomestici, ai fari delle automobili.

L'impiego nel settore tribologico è importante e consiste nel modificare i fenomeni di attrito che intervengono nella movimentazione meccanica, rendendo, per esempio, particolarmente dure le superfici di contatto. Esempio di ricoprimento duro per applicazioni tribologiche sono tipicamente i nitru e i carburi di cui sono rivestiti i materiali degli utensili meccanici, punte, frese e il diamante artificiale di cui sono rivestite le testine hard disk. I film sottili di diamante artificiale non possono essere impiegati per ricoprire gli utensili meccanici a causa della loro elevata temperatura di esercizio; alle alte temperature, infatti il diamante si trasforma in grafite. Un esempio sempre in questo campo sono i film di teflon delle padelle antiaderenti. Il controllo di bagnabilità di una superficie mediante un ricoprimento a film sottile opportuno può rendere idrofila una superficie idrofoba e viceversa. Tramite le particelle ceramiche opportunamente funzionalizzate con composti organici allo scopo di ridurre la tensione superficiale dell'acqua, è possibile realizzare superfici non soggette a quelle condense. Le nanoparticelle ceramiche consentono l'estrusione di pezzi di questo materiale dalle forme più svariate, cosa impossibile in altri casi. Inoltre a questo si aggiungono le proprietà peculiari delle nanoparticelle sintetizzate a temperature inferiori alle corrispondenti particelle micrometriche e la migliore lavorabilità meccanica. Nanocompositi trovano impiego in packaging, per esempio PE e PET impiegati per le bottiglie di acqua o altri liquidi alimentari, ma non impermeabili all'ossigeno. Questo fatto pregiudica quei prodotti con le caratteristiche organolettiche soggette al degrado in presenza di ossigeno, per esempio la birra. Un nanocomposito costituito da un polimero caricato a nanoparticelle può offrire le caratteristiche

necessarie di impermeabilità all'ossigeno. Nel campo della salute, delle cosmesi e della ricostruzione della pelle la produzione di nanoparticelle con permeabilità all'ossigeno porterà benefici risolvendo molti problemi legati al derma ed altri ancora.

Campo energetico

L'introduzione di nanotecnologie in campo energetico porta enormi benefici anche sul fronte del risparmio per le possibilità che esse offrono di sfruttare processi e sistemi nelle celle a combustibile, come l'effetto di termoelettricità o l'effetto Peltier. Inoltre, qui possiamo nominare gli aerogel. In questo caso si tratta di materiali nei quali la nanoporosità è spinta all'estremo. Si sa che un aerogel è una sorta di schiuma solida cioè un materiale a bassissima densità e bassissima conducibilità termica, il che lo rende un isolante termico. Se a questo aggiungiamo un opportuno materiale di cui caricare gli aerogel, si produce per esempio l'aerogel vetro: esso è sostanzialmente trasparente e questa proprietà ottica è legata alla nanostruttura nella quale la dimensione nanometrica dei buchi impedisce la rifrazione della luce, preservando il cammino ottico dei raggi luminosi. Se la dimensione dei buchi fosse micrometrica il materiale sarebbe apparentemente bianco.

Un aerogel di schiuma di vetro è un ottimo isolante termico trasparente, ideale per riempire le intercapedini delle finestre a doppio vetro, abbattendo la dispersione del calore. Come nel caso di energie rinnovabili l'utilizzo di specchi di vetro migliorerà le prestazioni.

Basandosi su questi principi di funzionamento possiamo citare due fenomeni importanti:

- 1) effetto o fenomeno Seebeck, processo fisico nel quale una giunzione fra due metalli diversi diviene generatore di forza elettromotrice se attraversata da un flusso di calore;
- 2) effetto Peltier, in cui una giunzione fra metalli diversi alimentati elettricamente in modo opportuno diventa una pompa di calore in grado di raffreddare.

Le nanotecnologie danno nuovo lustro a questi fenomeni grazie alla realizzazione di dispositivi in grado di consentire un uso effettivo, potenzialmente su vasta scala. Per esempio depositando film di cinque nanometri di tellururo di antimonio (SbTe) su un film di un nanometro di tellururo di bismuto e ripetendo la sequenza più volte, si ottiene un multistrato semiconduttore che, attraversato dall'elettricità, da un lato diventa caldo e dall'altro freddo.

Multistrati di questo tipo miniaturizzati possono essere in grado di raffreddare in modo estremamente localizzato i microprocessori dei PC. Un aumento dell'effetto Peltier può avere ricadute sull'intera industria del freddo; lo stesso vale per i generatori nanotecnologici a effetto Seebeck: ogni sorgente di calore, compreso il calore residuo dei processi industriali, può essere utilizzato per generare energia elettrica.

Le applicazioni dei cristalli fotonici

I cristalli fotonici sono materiali a nanostrutture con schiere ordinate di fori e possono rappresentare la rivoluzione optoelettronica in cui i fotoni assumono il ruolo degli elettroni. L'utilità dei semiconduttori deriva dal

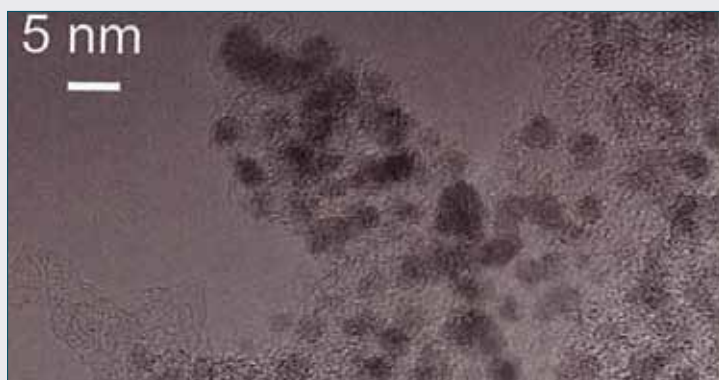


Fig. 3 - Immagine di un nanocomposto costituito da carbonio e nanoparticella di un metallo

controllo della disponibilità di elettroni e lacune, sopra e sotto il gap di banda. Esistenza e proprietà di un gap di banda elettronica dipendono in modo cruciale dal tipo di atomi presenti nel materiale e dalla struttura cristallina in cui sono organizzati, ovvero dalla forma del reticolo che essi possono costituire.

La luce che incide su materiali forati dà origine a un fenomeno di riflessione e di parziale riflessione su interfacce interne tra aria e vetro. È importante sottolineare che i fasci sovrapposti si rafforzano o si cancellano l'uno con l'altro in dipendenza della lunghezza d'onda della luce, della direzione di propagazione, dell'indice di rifrazione del vetro e delle dimensioni di tutte le lacune. Modificando la struttura del gap di banda si producono altri effetti: una cosa simile si fa drogando semiconduttori elettronici.

Le fibre ottiche sono state scoperte nel 1987. Una fibra ottica è un tipo di materiale utile a gap di banda incompleto con cristalli fotonici bidimensionali che possono impedire alla luce di propagarsi in un piano. Ma i cristalli fotonici possono essere anche tridimensionali e in questo caso viene formata una nuova fibra ottica che possiede un indice di rifrazione molto alto e che confina la luce per riflessione totale. Un esempio del genere sono i laser a stato solido di titanio-zaffiro (fibra ottica). Le fibre ottiche utilizzano il principio del gap di onda per guidare la luce. Tubi capillari di SiO_2^* formano un materiale ottico a gap di banda che confina la luce nel foro centrale di circa 15 micrometri di diametro (Fig. 3). Il gap di banda dipende da come le onde interagiscono con centinaia di fori: si tratta di un processo complicato.

Dopo numerosi studi è stato scoperto che la configurazione tetraedrica del diamante è la più efficace per formare un gap di banda fotonica già per un indice di rifrazione 1,87 e molti materiali ottici hanno indice di rifrazione maggiore di 3. Un esempio di gap di banda fotonica naturale è rappresentato dalle ali di farfalla e dall'opale costituito da sfere sub micrometriche di silice disposte in una struttura compatta cubica a facce centrate.

Le fibre ottiche sono state utilizzate in più svariati settori, anche in campo militare (missilistica). Oggi sono sempre in miglioramento le tecni-



Fig. 4 - Campione di aerogel composto da microfibre di silice. Si nota il colore trasparente un peso di 0,7 g e capace di sostenere uno di 100 g

Tab. 1 - Differenti tipi di dispositivi

Numero	Dispositivo	Descrizione	Stato dell'arte
1	Laser ottici	Materiali a gap di banda bidimensionali estesi alla terza dimensione	
2	Laser nanoscopici	Le più piccole cavità ottiche e i più piccoli laser, formati in un materiale a gap di banda bidimensionale a film sottile	Dimostrazioni sperimentali
3	Antenne a radiofrequenze, riflettori	Utilizzo di induttori e condensatori, anche materiali dielettrici	Dimostrazione sperimentale per la risonanza magnetica
4	Diodi a emissione di luce	Strutture a gap di banda fotonica che può estrarre la luce con elevata efficienza superiore a 50%	Dimostrazione sperimentale ma devono competere con metodi alternativi
5	Circuiti integrati fotonici	Film sottili bidimensionali confrontati con circuiti integrati per produrre filtri di canale modulatori, accoppiatori	In via di sviluppo

che di produzione di fibra ottica secondo campi di applicazioni. Le tecniche principali partono da gel e aerogel con utilizzo di processi come: adsorbimento a) chimico-fisico; b) fisico-meccanico con il quale è possibile migliorare le prestazioni (Tab. 1).

Le nanotecnologie nel settore chimico

Le particelle di biossido di titanio di dimensioni inferiori a micrometri possono essere indotte ad autoassemblarsi nella struttura dell'opale. TiO_2 è il pigmento bianco utilizzato nella produzione di colori e nella sbiancatura della carta (Fig. 5).

La diffusione della luce coerente che deriva dalla struttura a gap di banda del biossido di titanio può fornire una maggiore bianchezza con impiego di una massa inferiore di pigmento. I cristalli fotonici possono essere sfruttati per tingere le pareti o per rendere più bianca la carta.

La catalisi chimica

L'efficienza dei processi catalitici è stata aumentata grazie alle nanotecnologie. Le dimensioni nanometriche delle particelle consentono che la superficie complessiva del catalizzatore sia più estesa a parità di massa. Questo fatto offre le possibilità di impiegare nanocompositi da una matrice a elevata porosità sulla quale siano fisicamente supportate le nanoparticelle catalitiche attive. Si può immaginare una matrice

*Le esperienze di un lavoro di tesi di laurea sui modelli, metodi e schemi di produzione di gel di silice hanno verificato sia le differenze apparenti (colore, opalescenza) che quelle chimico-fisiche e meccaniche. Il numero di elettroni e lacune è regolato da qualità e quantità degli atomi droganti ed a sua volta regola le proprietà del materiale ai fini dei campi di applicazioni di questi gel e aerogel (L. Campanella, D. Lelo, Produzione del gel di silice marker in laboratorio, maggio 2004).

nanoporosa ricoperta con tecniche da film sottile e da un sottilissimo strato di materiale attivo.

L'oro in dimensioni micrometriche non mostra alcuna attività catalitica, ma quando le dimensioni si riducono a nanometriche diventa migliore del platino. I settori più importanti in cui trovano applicazione catalizzatori a base di nanoparticelle d'oro sono due:

- le marmitte catalitiche nelle quali la decomposizione del monossido di carbonio e degli ossidi può venire anche a temperature ridotte;
- le celle a combustibile.

Le nanotecnologie portano benefici in campo chimico ambientale: un esempio sono le proprietà fotocatalitiche degli ossidi metallici, in particolare del biossido di titanio (TiO_2).

Sulle possibilità di impiego di nanoparticelle di TiO_2 distribuite su grandi superfici (edifici, strade illuminate dalla radiazione solare contenente sia pure in minima parte UV) e sul conseguente abbattimento degli inquinanti ambientali, sono in corso molti studi. L'uso di un sensore in grado di misurare la salute del suolo tramite determinazione nelle particelle più fini di sostanze inquinanti è in via di sviluppo, ed in particolare è stato l'obiettivo di studio del progetto CE Erasmus Mundus Cooperation, anno acc. 2009/2010. L'attività fotocatalitica del TiO_2 trova interessante applicazione nel campo della produzione dell'idrogeno, il cui ruolo come vettore energetico è molto importante. È nota la reazione di fotolisi dell'acqua mediata da TiO_2 . Le nanoparticelle di TiO_2 possono fornire il fotocatalizzatore dal quale si può ricavare idrogeno dall'acqua per semplice irraggiamento solare.

Il monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale, e in generale il settore sensoristico, riceve enormi impulsi dalle nanotecnologie. Si tratta di un contesto tecnologico che può trarre beneficio sia dalla possibilità di realizzare elementi sensibili nanostrutturati sia dalle possibilità offerte di microlavorazioni meccaniche e di microelettronica.

Disporre della parte di *sensing* dell'elettronica di gestione e quella dedicata alla trasmissione dei dati integrate in un unico dispositivo porta alla costruzione di una vera unità di monitoraggio *stand-alone*. Disposi-

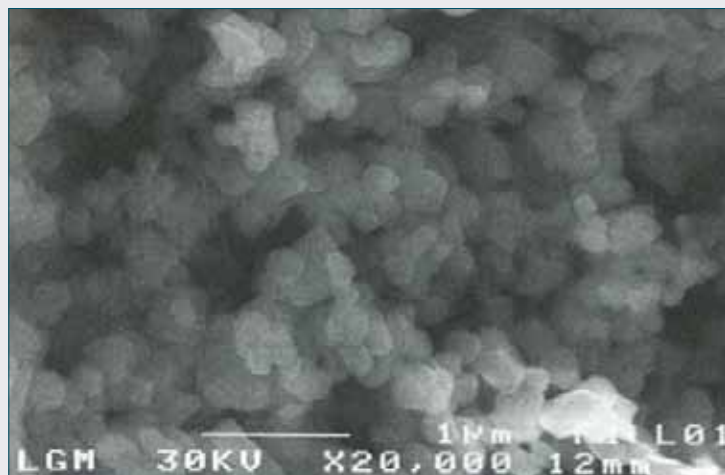


Fig. 5 - Immagine al SEM di cristalli di TiO_2 sub micrometrici

tivi di questo genere sono costituiti da un gran numero di microsensori differenti dedicati alle micelle gassose: sono i cosiddetti nasi elettronici sviluppati in numerosi centri di ricerca.

Il corpo umano e le nanotecnologie

Il corpo umano è una macchina speciale formata da particelle piccolissime, funziona sulla base di massa, energia, velocità e movimenti che fanno scattare meccanismi di reazione, trasformazioni, cambiamenti. Il nostro organismo è un sistema molto complesso da cui bisogna prendere spunto. Esso serve da precursore per molte reazioni e quando esso è a contatto con l'ambiente esterno dirige stimoli, comportamenti, sensi, curiosità, pensieri.

L'utilizzo del DNA come impalcatura per organizzare altre molecole in un reticolo, compreso quelle che di per sé non formano strutture cristalline, è possibile e può dare una svolta importantissima.

Le ricerche scientifiche che usano le nanoparticelle, segnalano interessanti applicazioni ai problemi di salute: per esempio, multistrati di silicio poroso servono a trasportare i farmaci al sito giusto; capsule installate nel corpo, sono formate da una membrana di silicio, che si comporta come una ghiandola e come tale può rilasciare la giusta dose di farmaco; rigenerazione dei tessuti nel caso delle ossa fratturate con uso di prodotti nano che funzionano come "colla o leganti", utilizzo di nanochip per la proteomica, per la diagnosi precoce a partire dall'analisi delle proteine: sono tutti esempi delle nanotecnologie per contribuire a definire lo stato di salute, migliorare la vita a molte persone e superare le barriere che un corpo umano pone per difendersi dagli organismi estranei.

Nanostrutture a doppia elica possono essere realizzate tramite aggregati macroscopici di materia, costituiti da molecole progettate e unite in una struttura controllata con precisione nanoscopica. Capire e spiegare differenti fenomeni che avvengono all'interno del nostro corpo a livello cellulare (dimensioni del centesimo di millimetro), molecolare (dimensioni dell'ordine del milionesimo di millimetro) e atomico può contribuire in modo positivo a evitare inconvenienti.

I progetti di costruzione di un "cervello artificiale" partono dalla robotica fino alle neuroscienze. Si sa che ogni neurone funziona sulla base di complessi meccanismi elettrici: i segnali partono dalla membrana cellulare dove si aprono e si chiudono canali che trasmettono l'impulso fino alla sinapsi, il punto di contatto tra due neuroni. Lì vengono rilasciati i neurotrasmettitori, sostanze chimiche che a loro volta favoriscono la comunicazione tra le cellule nervose.

Le simulazioni partono da processi, ragionando come se il cervello fosse un computer e si costruiscono gli algoritmi di una certa funzione. Poi gli algoritmi vengono immessi in un computer che, a sua volta, funziona come fosse un cervello dal punto di vista dei processi, ma non dal punto di vista dei singoli passaggi.

Sono tante le domande che aspettano risposte: per esempio perché il nostro tessuto cerebrale funziona in un modo piuttosto che in un altro. La simulazione dei dati sul funzionamento di un cervello umano tramite un computer biologico può servire a dare delle risposte su

come fa il cervello a passare dal livello "materiale" al pensiero o alla coscienza. È importante spiegare il passaggio tra comportamento e fenomeni biologici a livello cellulare: su questo possono essere costruite le macchine pensanti. Il simulatore del cervello potrà dare informazioni precise su quanto accade quando introduciamo una certa sostanza nel sistema nervoso centrale. In questo modo è possibile curare con efficacia molte malattie e guarire quelle che ancora sono prive di una terapia adeguata. Questi computer sono in grado di elaborare i dati relativi a 10 mila neuroni e 30 milioni di sinapsi. Con l'aiuto di un programma 3D è possibile visualizzare e capire come la materia cerebrale muti in risposta a uno stimolo esterno (progetto sull'intelligenza artificiale in medicina) (Fig. 6).

Tipologie di computer da utilizzare nel campo delle nanotecnologie

1. Costruzione di computer chimici che si basano sullo sviluppo di modelli matematici derivati dalla meccanica quantistica e che sono in grado di simulare sistemi chimici con grafici e schemi di calcolo matematico sulle grandezze fisiche (come struttura, energia, distribuzione elettronica), per prevedere la natura dei legami chimici e quindi affrontare sistemi chimici sempre più complessi con componenti di dimensione nanometrica e contribuire alla costruzione di macchine a logica molecolare: ciò significa che è importante la costruzione delle macchine che devono lavorare su singole molecole o meglio atomi, quindi macchine sempre più piccole e sempre più potenti;
2. utilizzo dei computer biologici che usano la simulazione di milioni di dati e la loro elaborazione con sistemi algoritmici: può essere un grande vantaggio e dare delle spiegazioni nel campo delle neuroscienze;
3. miniaturizzazione di strumenti di analisi e ricerca: può aiutare a individuare particelle di dimensioni dell'ordine nano con approccio top down e sempre più funzionali; essa può ispirarsi ai processi naturali della vita intorno a noi, che avvengono sulla base di movimento, energia e massa di un corpo, ma anche all'interno del nostro organismo;
4. studio degli unici atomi che creano disordine (sono proprio quelli che innescano, meccanismi, trasformazioni, cambiamenti di strutture, funzioni, legami, reazioni, sistemi).

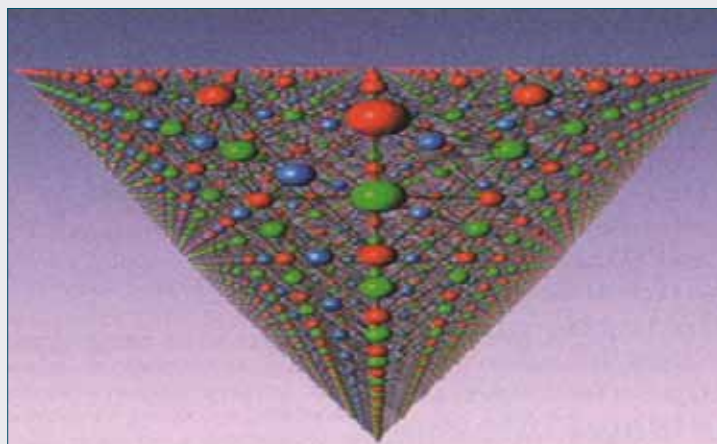


Fig. 6 - Chimica computazionale

Conclusioni

Oggi, molti meccanismi di reazione (in differenti campi) che coinvolgono un numero elevato di particelle, sono già conosciuti e studiati. L'elaborazione di dati ottenuti dallo studio di questi meccanismi si realizza tramite sistemi matematici statistici di programmazione. Invece sullo studio di un'unica particella, c'è ancora molta strada da fare. Effetto o azione delle particelle più piccole della materia potrebbero dare un contributo migliore sulle differenziazioni di informazioni basandosi sulla specificità dei dati ottenuti e indirizzando verso quali siano i campi dove si possono applicare tali tecnologie e quali siano i limiti in termini di sicurezza. Per la costruzione di strumenti sempre più complessi di ultima generazione e che possono interfacciare ogni piccola particella, è necessario tener presente e controllare alcuni parametri importanti come energia, movimento, segnali che arrivano dal movimento delle particelle piccole, tempo ed infine evidenziare il segnale che causa disordine e porta cambiamenti sia di struttura, ma anche di funzione della particella che si studia. Quindi è necessario adottare modelli di produzione dei "materiali nuovi" costituiti da nanoparticelle che non comportino costi e che possano risolvere i problemi. Le caratteristiche dei prodotti devono garantire la soddisfazione di bisogni e la durata nel tempo, in modo da migliorare la qualità della vita.

Bibliografia

- [1] L. Campanella D. Lelo, *Chimica e Industria*, 2012, **94**(7), 112.
- [2] L. Li *et al.*, *Journal Nano Energy*, 2012, **1**(1), 91.
- [3] R.T. Chen *et al.*, *Renewable Energy*, 2012, **40**(1), 24.
- [4] Y. Vygranenko, *Nanocrystalline Photovoltaics*, 2010, **94**(11), 1860.
- [5] S. Guha *et al.*, *Solar Cells and Modules*, 2011, **6**, online 308.
- [6] Y. Vygranenko *et al.*, *Comprehensive Coordination Chemistry II*, 2010, 719; *Electronics*, 1949, 2829.
- [7] L. Campanella, D. Lelo, *Chimica e Industria*, 2008, **90**(4), 128.
- [8] R.G. Davies, *Computer programming in quantitative biology*, Academy Press, London-New York, 1998, 492.
- [9] P.R. Mishra *et al.*, *Energy Studies*, 1996; available online, 15 February 1999.
- [10] M.M. Benjamin, J.D. Leckie, *Adsorption of Metals at Oxide Interfaces: Effects of the Concentrations of Adsorbate and Competing Metals*, Ch. 16, Vol. 2, Analysis, Chemistry, Biology, R.A. Baker (Ed.), Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1980.
- [11] M.D.K. Nazeeruddin *et al.*, *Encyclopedia of Energy*, 2004, **6**(10), 17.
- [12] N.S. Lewis, *Photosynthesis, Artificial systems*, 2004, **6**, 14.
- [13] F. Decker, S. Cattarin, *Photoelectrochemical cells*, 2009, **23**(11).
- [14] T.I. Quickenden, G. Kim Yim(née Tan), *Solar Energy*, 2003.