Nanotecnologie
Opportunità e implicazioni sociali

di Gabriele Centi

Quali prospettive e opportunità offrono le nanotecnologie, ma anche quali sono le implicazioni sociali che derivano dallo sviluppo e applicazione delle nanotecnologie? Alcuni spunti di riflessione su queste tematiche sono offerti da una breve presentazione della discussione avvenuta nell'ambito del "3rd EC/NSF Workshop on Nanotechnology". Viene inoltre discusso il problema del significato di nanotecnologie e nanomateriali.

"Cosa sono le nanotecnologie? Qualcosa di così piccolo che talvolta non si sa di cosa si parla".
Con questa battuta (W.L. Haworth, direttore della Divisione sulla Ricerca sui Materiali del NSF-US National Science Foundation) si è aperto il 3rd EC/NSF Workshop on Nanotechnology (Lecce, 31.1/1.2.2002) organizzato localmente dal Laboratorio Nazionale sulle Nanotecnologie dell'Infm (professor R. Cingolani) nell'ambito della cooperazione sui materiali tra Comunità Europea (EC) e NSF. Il Workshop (terzo di un ciclo di quattro previsti per quest'anno) oltre a fare il punto su prospettive e implicazioni tecnologiche di questo settore in rapido sviluppo e a favorire la cooperazione EC-US nel settore dei materiali innovativi, aveva l'obiettivo specifico di esaminare le implicazioni etiche, sociali, politiche, educative ed economiche della ricerca sulle nanotecnologie, un argomento certamente difficile, ma la cui rilevanza va ben oltre lo specifico settore.
Il workshop ha offerto quindi molteplici punti di riflessione che saranno brevemente analizzati di seguito non disgiuntamente da alcune personali riflessioni che ovviamente non possono essere separate nel discutere questi argomenti.
Cosa sono le nanotecnologie? Come spesso accade per tematiche di moda, ovvero ove si concentrano i finanziamenti non sempre seguendo logiche scientifiche di attenta valutazione dei costi/benefici, la parola è utilizzata non sempre correttamente. Si può fare una prima distinzione tra nanomateriali e nanomacchine.
La ricerca su quest'ultime è certamente interessante, ma in molti casi è ancora al livello di curiosità. Ad esempio durante il workshop è stata presentata una nanomacchina costituita da una molecola lineare con due gruppi anteriori ruotanti e due gruppi anteriori a simulare una macchina (C. Joachem, Cemes-Cnrs, Toulouse, France).
Tuttavia, il moto può essere seguito con microscopia a forza atomica solo a 4 K, in quanto i moti roto-vibrazionali a temperatura ambiente non rendono più rigida la struttura e planare la superficie. Sebbene l'applicazione sembri molto distante, questo settore delle nanomacchine è quello che suscita più preoccupazioni, per la paura di poter creare nanorobot con capacità autoreplicante che sfuggirebbero al possibile controllo date le loro dimensioni.
Fantascienza? Eppure specie negli Stati Uniti questa è una delle tematiche di discussione più calde.

G. Centi, Dip. di Chimica industriale e Ingegneria dei materiali - Università di Messina - Salita Sperone, 31 - 98166 Messina. Presidente della Federazione Europea delle Società di Catalisi. centi@unime.it

Nanomateriali

Il settore dei nanomateriali è certamente quello più esteso, sebbene dominato in larga parte dalla cultura dei materiali per l'elettronica.
Per questi ultimi l'integrazione su larga scala dei circuiti ha un'evoluzione prevedibile (la famosa legge di Moore) e quindi il concetto di nanotecnologia ha un significato definito in termini di evoluzione delle dimensioni dei transistor od elementi di memoria binaria, e dei relativi limiti delle tecnologie di fabbricazione. Ne deriva la necessità di un cambiamento nella filosofia dell'approccio: dall'approccio attuale (riduzione delle dimensioni dei singoli elementi del circuito d'insieme utilizzando tecniche fotolitografiche sempre più sofisticate) a quello futuro in fase di sviluppo (tecniche autoassemblanti molecolari *molecular electronics*).
Questa transizione è definita come il passaggio da un approccio *top-down* a quello *bottom-up* (Figura 1), ma a ben vedere questo non è che un passaggio

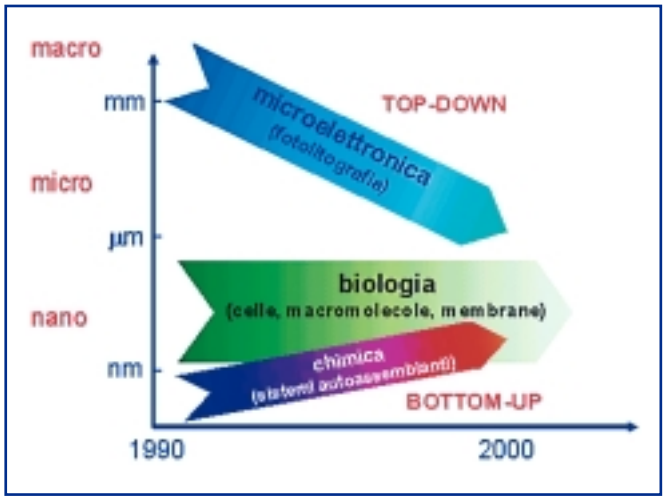

Figura 1 - Passaggio da un approccio top-down *a* bottom-up

dalla fisica alla chimica dello stato solido. Il fatto dovrebbe forse farci riflettere.

Nel rimanente settore delle nanotecnologie, il concetto di nanomateriale è meno definito.

Prendendo ad esempio le classi di nanomateriali citati durante il workshop si passa dai nanotubi (in particolare per lo stoccaggio d'idrogeno o altri gas quali metano, oppure per realizzare materiali rinforzati), ai film sottili (circa 10 nm) che permettono un confinamento 2D di elettroni (per nuovi tipi di laser) oppure un comportamento superidrofilo delle superfici (film composti da nanoparticelle di ossido di titanio), ai compositi 2D (ad esempio alternando film nanometrici di materiali magnetici con diversa durezza si possono realizzare molle magnetiche, oppure incorporando nanocluster di un solido lubrificante quale MoS_2 come ultimo strato si ottengono materiali autolubrificanti), ai nanosensori per applicazioni ambientali e mediche, alle nanomembrane per separazione (alternativamente è possibile creare un array ordinato di buchi in un film polimerico e riempire questi con altro materiale per realizzare nanocavi a struttura ordinata) e infine ai catalizzatori solidi nanocompositi e/o nanostrutturati per applicazioni ambientali e chimiche.

La Figura 2 illustra un esempio di nanomateriale catalitico (nanocluster di Pt) per applicazioni nel settore energetico (conversione elettrocatalitica di CO_2 a combustibili).

Le dimensioni dei nanocluster determinano significativamente il comportamento catalitico. Inoltre nel settore delle nanobiotecnologie sono stati citati nuovi materiali biocompatibili, sistemi per incapsulare geni e medicine e trasportarle miratamente nel corpo umano, e sistemi intelligenti miniaturizzati per migliorare le caratteristiche umane e/o proteggere la salute. L'evoluzione di questa linea è la realizzazione di sistemi interfaccia tra computer e corpo umano da installare direttamente in quest'ultimo. La ricerca è attiva in questa direzione, ma suscita ovvie perplessità e questioni etiche.

Come si vede sotto la voce nanotecnologie sono classificati sistemi tendenti verso il piccolo, ma non sempre con nanodimensione (ad esempio nel settore delle nanobiotecnologie). In molti casi, la riduzione delle dimensioni porta a nuove proprietà funzionali [citati da vari autori sono stati ad esempio vari catalizzatori quali particelle d'oro supportato che se preparate con dimensioni nanometriche (3-5 nm) e opportune metodologie di sintesi rendono attivo cataliticamente l'oro altrimenti inerte; le applicazioni sono in campo ambientale, miglioramento della qualità indoor dell'aria e nel campo energetico quale l'eliminazione di tracce di CO da H_2], ma non sempre (ad esempio, non sempre è evidente come un film sottile abbia proprietà differenti da un film spesso, e qual è la dimensionalità di un film che ne permette la definizione come nanomateriale).

Come definire quindi un nanomateriale? La questione è aperta, ma mi sembra che la definizione più opportuna sia quella di un materiale ove il controllo della nanostruttura e architettura dà luogo a proprietà funzionali con non derivano dalla semplice riduzione di scala, ma anche ove il comportamento funzionale non è la semplice somma degli elementi costituenti. Molecole per quanto complesse non rientrano nell'ambito delle nanotecnologie, se il comportamento di un loro insieme discreto non porta a proprietà differenti sia da quelle collettive sia della singola molecola. Un film organico su una superficie non è un nanomateriale, se le proprietà autoassemblanti non portano a funzionalità diverse. Egualmente una molecola, un complesso o cluster, per quanto complesso, non è un nanomateriale per il semplice fatto che può trovare applicazione. Così come un materiale non può essere definito nanomateriale se non si dimostra che le sue proprietà derivano appunto dalla dimensionalità o dalla presenza di effetti sinergetici a livello di nanoscala. La definizione è certamente soggetta a critiche, ma la questione della definizione è un problema centrale per fare un po' di chiarezza nel settore. Un dibattito su questa questione è utile, anche per limitare la corsa a definire tutto come nanotecnologia.

Didattica e nanotecnologia

Un problema in fondo associato alla definizione di nanotecnologie è quello educativo. Un argomento abbastanza discusso durante il workshop è stato se la tematica delle nanotecnologie richiede corsi di studio ad hoc o no. Come spesso accade per le nuove aree di sviluppo le nanotecnologie richiedono la cooperazione interdisciplinare tra fisici, chimici, biologici, ingegneri ecc. Servono quindi nuovi corsi di studio? La conclusione della discussione è stata chiara, stimolata in particolare dall'esperienza di vari gruppi di ricerca industriali: non servono nuovi corsi specifici, in quanto le competenze fornite da quelli tradizionali vanno bene. Tuttavia, serve stimolare una capacità di comunicazione interdisciplinare molto spesso carente. Questa conclusione dovrebbe far riflettere molte operazioni accademiche di nuovi corsi di studio inaugurati in Italia.

Nanotecnologia tra etica e società

Due altri argomenti la cui rilevanza è molto più generale sono stati discussi a lungo durante workshop: il rapporto tra nanotecnologie (scienza) e società, e la questione dell'etica della scienza. La ricerca pubblica è pagata dalla società e quindi è necessario rendere conto ad essa trovando le maniere opportune e i modi per informarla. È stato presentata una recente indagine fatta in Gran Bretagna che evidenzia come l'interesse per la scienza è elevato (attorno all'85% rispetto al 55% per la politica), ma il punto carente è la comunicazione delle informazioni che ha spesso portato a distorcere e talvolta a manipolare il risultato scientifico, creando attese non giustificate od utilizzando il risultato scientifico in modo improprio per supportare le proprie idee. Basti citare ad esempio in

Italia il caso dell'inquinamento da autoveicoli. Anche in questo caso quindi vi è un problema di comunicazione della scienza e di creare attraverso opportuni strumenti il corretto flusso d'informazione dal mondo scientifico verso la società e viceversa. Collegato a questo tema è quello dell'etica della scienza. Esiste una scienza etica od un'etica della scienza? Questo argomento è stato discusso anche in questa rivista riguardo al problema della chimica, ma assume una particolare rilevanza per settori quali quello delle nanotecnologie, ove le elevate attese portano come conseguenza ad elevati timori di un utilizzo improprio. Non a caso le nanotecnologie derivano spesso da studi per applicazioni militari e uno degli argomenti discussi durante il workshop è stata appunto questa relazione. Uno delle affermazioni critiche e contestate riguardo a questa tematica è stata quella che le nanotecnologie (scienza) sono neutrali (tesi sostenuta da varie argomentazioni filosofiche a partire da Aristotele), semmai l'uso può essere improprio. Se in parte questo è vero, e quindi non può essere limitato il progresso scientifico, occorre tuttavia non nascondere il problema. Ogni innovazione scientifica può essere soggetta ad un uso proprio od improprio, ma varia da caso a caso il rischio di un utilizzo pericoloso (cosciente o non). Quindi non può essere negato lo sviluppo scientifico, ma occorre che questo sia accompagnato da tutti gli strumenti di controllo pubblico che ne impediscano l'uso non corretto. Allo stesso tempo occorre fare una seria valutazione del rischio della ricerca per mettere in atto quelle misure che ne minimizzano i rischi. Questo porta alla problematica della valutazione quantitativa dei costi/benefici della ricerca (ove costi non sono solo quelli economici, ma anche ambientali, sociali ecc.), così scarsamente considerata in molti programmi di ricerca pubblici. Gli esempi sono numerosi, ma servirebbe una discussione più dettagliata e lunga di quella qui possibile.

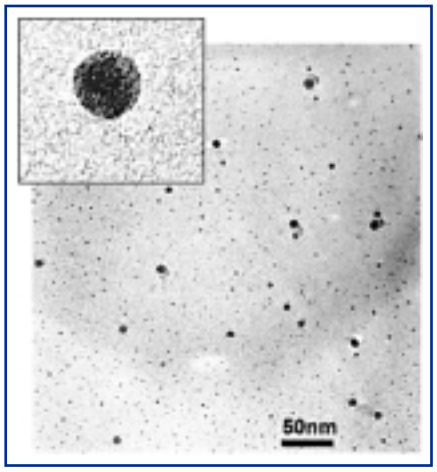

Figura 2 - Nanomateriale catalitico (nanocluster di Pt) per applicazioni nel settore energetico

Conclusioni

Il workshop di Lecce sulle nanotecnologie non è stata solo un'occasione di riflessione sugli sviluppi in questo settore, ma più in generale sul rapporto tra innovazione scientifica e tecnologica e società, un argomento che dovrebbe essere più spesso discusso nell'ambito della comunità scientifica essendo crescente la sua rilevanza.