

AGOSTINO PENNISI DI FLORISTELLA  
Socio effettivo

## NANOCOSMO: ALLE FRONTIERE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA

Quando la ricerca scientifica, ed in particolare la scienza dei materiali – argomento che vogliamo qui brevemente introdurre – si spinge ai confini della conoscenza, nell'intuire e prospettare possibilità conoscitive ed applicative ai limiti dell'immaginario, è facile comprendere come non si rinunci affatto alla creatività od alla fantasia. Anzi proprio nella scienza di frontiera si rivela l'intuito creativo dell'uomo che, immaginando nuovi scenari, si fa propulsore della conoscenza e della sperimentazione, senza limitarsi a sviluppare una ricerca fine a se stessa, ma realizzando nuove macchine e dispositivi per applicazioni oggi impensabili, con implicazioni dirette nel quotidiano.

Come il titolo del tema «nanocosmo» fa intuire e suggerisce, l'argomento si occupa di un universo di oggetti piccolissimi, senza però che si entri nel campo del subatomico o delle particelle elementari, ma piuttosto rivolgendo l'attenzione alla materia così come la abbiamo tutti sotto gli occhi, nella sua diversità di forme, di composizione, di proprietà fisiche, di stato di aggregazione. Si rivolgerà quindi lo sguardo ad elementi chimici che tutti conosciamo: sicuramente ed in primo luogo al silicio, che è tra i più comuni in natura (costituisce la sabbia del mare), assieme ad altri elementi forse un po' più rari ed inconsueti, come l'arsenico, il carbonio, il gallio, l'erbio e così via, tutti presi in dimensioni fisiche estremamente ridotte: e si prenderanno in considerazione anche dispositivi, qui intesi come minuscole macchine, costituite a partire da tali elementi, in grado di svolgere con precisione la funzione per la quale sono state programmate.

In effetti il termine «Nanotecnologia» è piuttosto recente. Esso fu coniato da tale Eric Drexler nel 1975, che definì con tale nome una tecnologia a livello atomico e molecolare ove ci si può permettere di porre ogni atomo esattamente in una posizione, rispetto agli altri, dove vogliamo che esso stia. E dove il prefisso 'nano' indica appunto una grandezza fisica pari ad un miliardesimo di metro, ovvero una tipica dimensione atomica. Il concetto era noto da tempo. L'idea di macchinari molecolari era stata introdotta già nel 1959 dal fisico Richard Feynman che prospettò la non lontana realizzazione di piccoli macchinari, o piccoli dispositivi, pronunciando la sua ben nota frase che, in italiano, suona come: «*c'è un sacco di spazio al fondo*». Cioè egli introdusse l'idea che, al ridursi delle dimensioni, si potevano costruire macchine sempre più piccole, in grado esse stesse di costruirne altre identiche, ma di dimensioni ancora più ridotte, in modo che in uno spazio sempre più ridotto prendesse posto un numero sempre maggiore di tali dispositivi.

Tale possibilità è già ben nota in natura: basti pensare ai ribosomi delle cellule, che sono vere e proprie macchine programmate per montare le proteine, cioè i mattoni di tutti gli esseri viventi, oppure agli enzimi, capaci di controllare le reazioni chimiche nell'organismo, od alla stessa sintesi clorofilliana. In altri termini si può pensare che le nano-tecnologie imitano la natura nella sua capacità di costruire, partendo da piccoli elementi, altri piccoli oggetti, ma che, con un processo di aggregazione, divengono sempre più complessi (come dal seme, l'albero).

L'attualità di tale argomento è documentata dalla recente pubblicazione del 9° volume della *Storia della Scienza* edito dell'Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, pubblicato nel corso del 2004, nel quale la sezione delle Nanostrutture è stata sviluppata dal professor Emanuele Rimini.

All'inizio del suo trattato, egli fa una interessante e fondamentale osservazione: non si ha a che fare solo con materia ridotta in piccole dimensioni (basterebbe allo scopo, aggiungerei io, un ingegnoso e raffinato mulino), ma di piccolissimi veri e propri dispositivi costruiti mettendo assieme atomo su atomo, contenenti una quantità relativamente piccola di atomi (da poche decine ad alcune migliaia) ciascuno posto in una ben determinata posizione e legato agli altri in una strut-

tura ben prefissata. Tali dispositivi hanno una loro funzionalità e possono essere messi in correlazione con altri dispositivi analoghi o differenti, il tutto atto a svolgere funzioni, anche complesse. Egli precisa come le nanostrutture possono essere create attraverso due metodi differenti ed opposti: l'uno nel quale la fabbricazione procede partendo da aggregati macroscopici e procede, verso il basso, riducendone progressivamente le dimensioni e riordinando gli atomi: nell'altro si parte da zero, mettendo su, atomo per atomo, un dispositivo. Non è difficile intuire come entrambi i procedimenti richiedano tecnologie molto avanzate e raffinate.

Crede che risulti subito chiaro a tutti come mettere insieme minuscoli dispositivi capaci di svolgere proprie determinate funzioni, cioè lo spingersi verso una miniaturizzazione sempre più forte, sia già di per sé un risultato di notevolissima importanza.

Quando iniziai i miei studi universitari, il calcolatore elettronico dell'Istituto di Fisica dell'Università di Catania occupava l'intera superficie di una vasta sala: oggi, dopo poco più di trent'anni, i computer che i nostri figli portano comodamente nello zainetto hanno una potenza di calcolo alcune decine di milioni di volte più elevata di quel calcolatore.

Ma il complesso delle nanoscienze, che il professor Rimini definisce molto propriamente nanocosmo, non è limitato solo all'importante risultato di questa potente riduzione di scala, cioè a quello derivante da una esasperata miniaturizzazione. Vi è un secondo aspetto, anche più rilevante e sicuramente più raffinato del primo: con l'andare verso le piccole dimensioni, fino a raggiungere la dimensione atomica, le leggi della meccanica classica o galileiana – ad esempio quelle che ci permettono di conoscere con micrometrica precisione il percorso di due palle da biliardo (o di due autovetture) dopo l'urto, o di studiare la traiettoria di un qualsiasi corpo nel campo di gravità terrestre o al di fuori di questa ecc., o l'analizzare il percorso di un raggio di luce che attraversa un prisma o una lente o un reticolo di diffrazione – non sono più valide, ma si entra nel campo di validità della meccanica quantistica, nel quale valgono leggi e proprietà spazio-temporali sostanzialmente differenti.

Tali leggi, scoperte e studiate all'inizio del secolo scorso da fisici i cui nomi sono a tutti noti: Einstein, Fermi, Heisenberg, Planck, De

Brogli e molti altri. rivoluzionano radicalmente alcuni concetti delle conoscenze fisiche. Per ragioni di brevità e chiarezza cito soltanto due implicazioni delle leggi della meccanica quantistica:

- 1) il principio di indeterminazione di Heisenberg (1927) stabilisce, tra l'altro, l'impossibilità di conoscere con precisione infinita (indipendentemente da limitazioni di tipo strumentale) la posizione di una particella e contemporaneamente il suo impulso (grandezza legata alla velocità ed alla massa della particella stessa). Infatti il prodotto delle indeterminazioni con cui misuriamo queste due grandezze non può scendere al disotto di una quantità piccolissima, ma ben determinata (che è la costante di Planck): quindi, se conoscessimo con precisione assoluta la posizione di un elettrone, nulla potremmo dire della sua quantità di moto e quindi della sua energia. In modo equivalente, nulla potremmo dire sulla posizione dell'elettrone se ne conoscessimo con precisione la sua velocità, in tal caso l'elettrone occupa una posizione nello spazio che resta assolutamente indeterminata. E' importante osservare come il limite stabilito dal principio di indeterminazione non riveste carattere puramente concettuale, ma ha anche grosse implicazioni di carattere sperimentale.
  
- 2) De Broglie (1923) postulò che ad ogni particella in moto è associabile una grandezza denominata lunghezza d'onda, caratteristica di tutti i fenomeni ondulatori (come la luce e le onde radio). Tale lunghezza d'onda è inversamente proporzionale all'impulso della particella stessa ed essa in qualche modo spiega quei fenomeni per i quali è necessario invocare un comportamento ondulatorio della materia. Tale lunghezza d'onda è associabile a tutti i corpi in movimento, anche quelli macroscopici che fanno parte della nostra esperienza quotidiana. Però, per osservare sperimentalmente il comportamento ondulatorio dei corpi macroscopici, avremmo bisogno di ostacoli o fenditure di dimensione confrontabile con la lunghezza d'onda stessa. Ma tale grandezza risulta così piccola per gli oggetti macroscopici, da rendere impossibile immaginare un qualsiasi ostacolo di dimensioni confrontabili con essa. Diverso è il caso di un elettrone che si muo-

ve all'interno di un reticolo cristallino, che possiamo immaginare come un sistema in cui è presente una serie di fenditure spaziate di larghezza confrontabile con la lunghezza d'onda dell'elettrone. In tal caso il comportamento ondulatorio dell'elettrone può dare origine a fenomeni eclatanti di fondamentale importanza, anche di carattere applicativo.

Tutto ciò che capita nella materia da 100 nanometri in giù è in definitiva assolutamente nuovo rispetto alla precedenti conoscenze e proprio per questo le nano-particelle presentano particolari e nuove proprietà meccaniche, ottiche, magnetiche, chimiche, biologiche, rendendo possibile attraverso i nano-dispositivi nuove, e spesso impensabili, applicazioni nei settori più diversi. Aspetto questo, che rende ancor più affascinante ed intrigante il mondo delle nano-tecnologie: sì da farlo definire nanocosmo!

In altri termini tutto ciò non costituisce una conoscenza astratta, ma si concretizza in ben determinate proprietà della materia, tutte riscontrabili sperimentalmente: ad esempio un elettrone libero di muoversi in un solido di piccolissime dimensioni acquisisce una energia molto maggiore che nello stesso solido massiccio. In tal caso esso diviene molto più 'mobile' sotto l'impulso di un'altra particella o di un raggio di luce (si pensi, al proposito, alle possibilità applicative nel campo della microelettronica o dei sensori). Da qui lo sviluppo di straordinarie ed innovative tecnologie: in primo luogo la costruzione dei microcircuiti, o circuiti integrati, nei quali, nello spazio di pochi millimetri quadri, è possibile concentrare alcuni miliardi di dispositivi, ad alla costruzione di nano-tubi di Carbonio (la cui parete è costituita da pochi atomi), o dei computer quantistici, in grado di sviluppare complesse elaborazioni numeriche ad elevatissima velocità, comparabile a quella della luce, proprio a ragione delle ridottissime dimensioni, sulla base delle leggi della meccanica quantistica e quindi delle proprietà tipiche delle particelle elementari: dal che si potranno sviluppare le prime forme di intelligenza artificiale.

Così pure si pensi che l'energia di legame fra atomi in un così detto *cluster*, cioè un aggregato di pochi atomi, è molto maggiore che nello stesso materiale massiccio. In questo caso la materia, ridotta in piccole dimensioni acquisisce nuove sorprendenti proprietà di resistenza mec-

canica e di durezza (si pensi alla applicabilità di tale proprietà per la costruzione di micro-motori, o nel campo della costruzioni di "vernici" ad elevatissima resistenza). Mi permetto infine di dare solo un riferimento alle innumerevoli applicazioni nel campo della ingegneria molecolare, della microchirurgia, della nano-biotecnologia (ove è prevedibile la non lontana costruzione di micro-medicine in grado di intervenire sulla singola molecola o sulla singola cellula), o della diagnostica medica (ove si sperimentano già dei micro-robot in grado di circolare, attraverso il sistema venoso, nell'organismo e di inviare segnali in dipendenza di riscontrate situazioni anomale), o di micro-bisturi, in grado di intervenire ancora sulla singola cellula. In definitiva le nanotecnologie si fondano su un'area di ricerca e sviluppo essenzialmente multidisciplinare, che richiede la collaborazione di scienziati, ricercatori, medici ed ingegneri meccanici ed elettronici con biologi, fisici e chimici.

All'inizio della mia carriera di ricercatore, oltre un trentennio addietro, nel preparare la mia tesi di laurea, ebbi la pretesa di tentare la verifica sperimentale diretta degli effetti della meccanica quantistica sulla materia. Quello che si poteva fare allora, per ottenere piccoli oggetti, almeno in una dimensione, era di realizzare strati sottilissimi, di spessore formato da pochi atomi, facendo evaporare un materiale solido e depositandone il suo 'vapore' su di un substrato, in modo da ottenere una pellicola di spessore composto solo da pochi atomi. Era prevedibile che gli elettroni liberi, confinati in uno strato così sottile, o, come si diceva, confinati in una buca quantica, acquisissero energie molto maggiori che nello stesso materiale massiccio. Naturalmente occorreva scegliere con cura il materiale da evaporare, per evitare che esso formasse sul substrato piccoli aggregati e che tale materiale avesse le proprietà di conduzione elettrica adatte. La ricerca, condotta con una complessa tecnica di misura e di indagine, ci diede ragione: le proprietà di tali strati variano sensibilmente, rispetto al materiale massiccio, al ridursi del suo spessore. Abbandonai poi tali indagini per dedicarmi alle possibilità applicative degli strati sottili.

Negli stessi anni, il professore Rimini, tra i primi al mondo, seguì una strada del tutto diversa. Erano noti da diversi decenni gli acceleratori di particelle nucleari: questi venivano comunemente usati per accelerarvi particelle sub-nucleari (neutroni o protoni) per ricerche nel

campo della fisica nucleare. Il professore Rimini pensò di utilizzarli per accelerare atomi, anche pesanti, di determinati elementi chimici. Questi venivano proiettati contro un bersaglio solido costituito da un ben determinato elemento, in modo che potessero esservi 'impiantati', come si diceva, praticamente ad uno ad uno, in una precisa posizione e, variandone l'energia, anche ad una precisa profondità dalla superficie. Si potevano così produrre 'nuovi' materiali, costituiti ad esempio da strati successivi e sottilissimi di atomi di specie differenti ed aventi quindi nuove proprietà. Tale tecnica, ancor oggi utilizzata, è una di quelle impiegate per costruire nano-dispositivi.

Pur lontani dal pensare, come asseriscono alcuni futurologi, che le nano-tecnologie daranno luogo ad uno sviluppo rivoluzionario del potere dell'uomo sulla natura, nel senso che ogni cosa potrà essere mutata e trasformata in qual cosa di nuovo o di diverso, riteniamo che la realizzazione di un progetto del genere si svilupperà nell'ambito delle leggi della fisica. Le affascinanti speculazioni sulle possibili conseguenze dell'utilizzo delle nano-tecnologie aprono la strada a prodotti che trascendono oggi la capacità immaginativa e che domani avranno la stessa importanza economica rivestita attualmente dal petrolio. Un sostanziale contributo al miglioramento della condizione umana nel pianeta può essere prefigurato pensando, ad esempio, alla possibilità di utilizzare solo il materiale strettamente necessario al funzionamento di un prodotto, per cui per fare un transistor basterà molto meno di un milionesimo di grammo di semiconduttore. Ne conseguono un maggiore risparmio nella produzione, facilità di smaltimento e, dunque, un ridotto impatto ambientale.