

NANOSCIENZE E NANOTECNOLOGIE: UNA SFIDA ED UNA OPPORTUNITÀ PER LA RICERCA ITALIANA NEL CONTESTO EUROPEO. di Salvatore Cannistraro

L'impatto che le Nanoscienze e le Nanotecnologie stanno avendo nel mondo scientifico prefigurano una nuova rivoluzione industriale. Accorte strategie di politica scientifica hanno portato tanti paesi a destinare notevoli risorse in un settore che, oltre a rappresentare una sfida intellettuale, prevede nel mondo ricadute produttive per migliaia di miliardi di euro nel prossimo decennio.

L'Europa, e con essa auspichiamo l'Italia, all'interno di un piano generale di incremento degli investimenti nella ricerca, progetta di dare un significativo impulso alle Nanoscienze e Nanotecnologie attraverso la messa in rete di centri di eccellenza nel settore, la formazione interdisciplinare di giovani ricercatori nonché il trasferimento della conoscenza a settori di produzione ad alto contenuto tecnologico.

In questi ultimi anni, le nanoscienze e le nanotecnologie (NN) vengono sempre più diffusamente considerate di notevoli impulso e benefici nello sviluppo di molte aree della ricerca e delle applicazioni ed attraggono considerevoli e sempre maggiori quote di investimenti messi a disposizione dai governi e dalle industrie. Le potenzialità delle NN vennero già previste nel 1959 da Richard Feynman, insignito del premio Nobel per la Fisica (*"There's Plenty of Room at the Bottom"*). L'avvento delle NN viene considerato una nuova rivoluzione industriale o addirittura un nuovo Rinascimento nella Scienza. Mentre le Nanoscienze studiano le proprietà dei materiali alla scala più bassa a cui la natura opera, le Nanotecnologie si occupano della progettazione, caratterizzazione, costruzione ed applicazione di strutture, dispositivi e sistemi controllandone la forma e dimensione a scala nanometrica (un nanometro corrisponde ad un milionesimo di metro). A questa scala le proprietà fisico-chimiche esibite dai materiali possono risultare sorprendentemente diverse da quelle possedute a scala più grande.

Le Nanoscienze sono considerate scienze "orizzontali" e beneficiano di approcci interdisciplinari convergenti collocandosi all'intersezione delle scienze tradizionali, dell'ingegneria, della meccanica quantistica, della chimica e fisica delle superfici nonché dei processi biologici di base e della fisiologia. E le icone di questa rivoluzione scientifica sono i microscopi a scansione di sonda (AFM, STM, SNOM,..) capaci di fornire immagini (nanoscopia) anche di singoli atomi o di spostarli da un posto all'altro (nanofabbricazione).

Le NN sono destinate ad avere un drammatico impatto nei seguenti settori:

-Nanomateriali

La costruzione di nuovi materiali con elevate prestazioni rappresenta uno degli aspetti più interessanti delle NN. I nanomateriali possono essere realizzati con approcci cosiddetti *"top down"* che portano alla creazione di strutture molto piccole partendo da pezzi più grandi, per esempio mediante *etching* per creare circuiti sulla superficie di un microchip di silicio. Più interessante per i risvolti innovativi nel campo produttivo è invece la realizzazione di nanomateriali mediante tecniche di *"bottom up"* mettendo assieme atomo dopo atomo o molecola dopo molecola. A questo scopo viene sfruttata la capacità che hanno certi atomi o molecole di autoassemblarsi in ragione della loro natura e di quella del substrato.

Vengono già utilizzate le nanoparticelle per il rafforzamento dei materiali, per lubrificanti particolari, la funzionalizzazione dei cosmetici, e in esperimenti pilota di disinquinamento ambientale. Grazie alle nanostrutture è possibile modificare o rivestire le superfici per renderle, ad esempio, resistenti ai graffi, non bagnabili, autopulenti o sterili. L'innesto selettivo di molecole organiche o biologiche mediante nanostrutturazione di superfici metalliche e semiconduttive avrà sicuri risvolti positivi nella fabbricazione di dispositivi elettronici molecolari e biosensori. Le prestazioni dei nanomateriali in condizioni estreme e la capacità di fabbricarli con notevolissima precisione ed accuratezza (migliore di 100 nanometri) risultano di notevole interesse nella costruzione di componenti per le tecnologie informatiche e di comunicazione

nonché nell'industria aeronautica e spaziale. Anche se è difficile fare delle previsioni temporali precise, è da aspettarsi che in pochissimi anni i nanomateriali contribuiranno a rivoluzionare le prestazioni e le filiere produttive di una vasta gamma di prodotti, comprendenti i componenti elettronici basati sul silicio, i *display*, le vernici, i catalizzatori, le batterie, i sensori a stato solido, ecc. Inoltre vedremo un uso sempre più diffuso dei nanotubi di carbonio, sottilissimi tubi a struttura grafitea con una o più pareti (di diametro di qualche nanometro e lunghi alcuni centimetri) con strabilianti proprietà di flessibilità e resistenza meccaniche, nonché interessantissime proprietà elettriche.

-Bionanotecnologie e Nanomedicina

Le applicazioni delle NN in medicina sono particolarmente promettenti e si sono già registrati significativi risultati nel campo della diagnostica precoce di numerose patologie mediate da biosensori, nel campo del rilascio controllato di farmaci mediante nanocapsule, nell'affascinante area del *nanoimaging* che consente addirittura il monitoraggio del traffico cellulare con *nanoreporters* legati a singole biomolecole o virus. I rivestimenti a base nanotecnologica possono migliorare la bioattività e la biocompatibilità dei trapianti. Le strutture molecolari autoorganizzanti aprono la strada a nuove prospettive nell'ingegneria dei tessuti e dei materiali biomimetici con la possibilità a lungo termine di sintetizzare la sostituzione degli organi. Sviluppi nella nanoelettronica dei *biochips* in grado di rilevare e processare l'informazione sensoriale possono portare, nel lungo termine, alla realizzazione di retine e *clochee* artificiali. Progressi nelle bionanotecnologie sono di estrema importanza nella comprensione dei meccanismi di funzionamento, di *folding* o di *mis-folding* delle proteine anche in relazione a patologie genetiche e non.

-Tecnologie dell'Informazione e delle Comunicazioni

Il ruolo delle NN nello sviluppo delle tecnologie informatiche è ampiamente illustrata nella *International Technology Roadmap for Semiconductors*, un documento accettato a livello mondiale che delinea lo scenario dell'industria dei semiconduttori fino al 2018. Il documento definisce uno standard di produzione per i chip di silicio in termini della lunghezza specifica caratterizzante una cella di memoria. Per il

2004 lo standard è di 90 nanometri, ma prevede per il 2016 uno standard di 22 nanometri. La continua miniaturizzazione dei chip dei computer è basata sulle NN e si prevede che possa, a breve e medio termine, coinvolgere i supporti di immagazzinamento di dati ad altissima densità (dell'ordine dei terabit per pollice quadrato) di tipo ottico e magnetico. A lungo termine, la produzione di dispositivi nanoelettronici molecolari o biomolecolari, dispositivi spintronici e informatica quantistica potrebbero aprire nuovi orizzonti oltre i limiti delle attuali tecnologie informatiche.

Sono già in studio alternative ai dispositivi elettronici basati sul silicio, come per esempio le plastiche elettroniche per *display* flessibili. Altri dispositivi elettronici a scala nanometrica vengono sviluppati nel settore delle telecomunicazioni, nella sensoristica per la rivelazione avanzata di inquinanti chimici nell'ambiente e per il controllo di qualità degli alimenti, nonché per il monitoraggio di stress in strutture meccaniche e fabbricati. Molto interesse è concentrato nello sviluppo di "*quantum dots*", ossia nanoparticelle di semiconduttori che possono essere quantisticamente adattate per emettere od assorbire luce a selezionate lunghezze d'onda e che trovano interessanti impieghi per marcatori fluorescenti in biologia cellulare, patologia molecolare, in celle solari e in optoelettronica.

-Energia

La produzione e la conservazione dell'energia possono beneficiare, ad esempio, di nuove celle a combustibile (anche a biocombustibile), di batterie di concezione avanzata o di nuovi solidi nanostrutturati leggeri in grado di garantire un efficiente immagazzinamento dell'idrogeno. Sono inoltre in fase di sviluppo celle solari fotovoltaiche a basso costo (del tipo per esempio a vernici solari) basate su nanomateriali. Si prevede che gli sviluppi nanotecnologici in materia di isolamento, trasporto ed illuminazione consentiranno considerevoli risparmi energetici.

Sono già stati commercializzati vari prodotti (in campo elettronico, medico, sportivo, cosmetico, ecc..) basati sulle nanotecnologie e, si stima che questi prodotti rappresentano attualmente un mercato di circa 2.5 miliardi di euro e che potrebbero raggiungere la quota di centinaia di miliardi di euro per il 2010.

Avendo come obiettivo quello di ottenere maggiori prestazioni con un minore dispendio di materie prime, in particolare mediante processi produttivi di tipo "bottom up", le nanotecnologie potrebbero contribuire alla riduzione della quantità dei rifiuti durante l'intero ciclo di vita dei prodotti ed essere in linea con lo sviluppo sostenibile agli obiettivi dell'Agenda 21 e a quelli del piano di azione europeo per le tecnologie ambientali.

Le potenzialità delle NN hanno spinto molti paesi ad avviare programmi di ricerca e sviluppo (R&D) con investimenti pubblici notevolissimi e in rapida crescita. Si stima con buona precisione che gli investimenti pubblici, a livello mondiale, nelle NN siano passati da 400 milioni di euro nel 1997 agli attuali 3 miliardi di euro. Nel settore privato, una stima, ovviamente più approssimativa, fa risalire l'ammontare degli investimenti a circa 2 miliardi di euro. Il finanziamento complessivo della R&D nelle NN ammonta quindi a circa 5 miliardi di euro.

Con la *National Nanotechnology Initiative*, gli Stati Uniti hanno varato un programma strategico di R&D nelle NN che partendo da un impegno finanziario di 220 milioni di dollari nel 2000 ha portato a una dotazione di circa 1000 milioni di dollari nel 2005 a cui si aggiungono oltre 300 milioni di dollari contribuiti dai singoli stati. C'è di più, l'impegno federale prevede negli USA un investimento nelle NN attraverso le agenzie NSF, DoE, NASA, NIST e EPA di 3,7 miliardi di dollari dal 2005 al 2008. Queste cifre non tengono conto della spesa per la difesa (DoD) e altri settori che attualmente assorbono un terzo del bilancio federale per le nanotecnologie.

Dal 2001 il Giappone ha stabilito che le NN sono una delle priorità delle proprie attività di ricerca. I finanziamenti sono passati da 400 milioni di dollari nel 2001 a circa 800 milioni di dollari nel 2003. L'ammontare degli investimenti è superiore a quello del finanziamento federale USA e prevede un ulteriore aumento del 20% nel 2004-2005.

La Corea del Sud ha lanciato un ambizioso programma di ricerca decennale con una dotazione di circa 2 miliardi di dollari di finanziamento pubblico mentre Taiwan ha impegnato circa 600 milioni di dollari di fondi pubblici per un periodo di sei anni.

Anche la Cina assegna sempre maggiori risorse alla ricerca sulle NN a fronte del fatto

che la quota cinese nelle pubblicazioni mondiali ha avuto un incremento del 200% alla fine degli anni 90 e si avvicina a quella dell'Europa e degli USA. Attualmente tonnellate di nanotubi al carbonio vengono prodotte nella regione del Guandong.

La Federazione Russa vanta già una solida tradizione nel campo delle NN e numerosi altri paesi dedicano sempre maggiori attenzione alle NN, in particolare Australia, Brasile, Canada, India, Israele, Malesia, Nuova Zelanda, Filippine, Singapore, Sudafrica, Tailandia.

L'Europa ha avvertito molto presto l'importanza delle NN ed ha sviluppato una solida base di conoscenze nel settore potendo contare su alcuni dei più brillanti ricercatori in questo campo. Diversi paesi europei hanno avviato programmi di ricerca specifici sin dalla metà degli anni '90. Sebbene taluni paesi (uno di questi è purtroppo l'Italia) non abbiano promosso iniziative specifiche, la R&D nelle NN è spesso integrata in altri programmi di ricerca, come le biotecnologie, le microtecnologie, ecc.. Sebbene l'Europa abbia prodotto fra il 1997 ed 1999 il 32% delle pubblicazioni mondiali nelle NN rispetto al 24% degli USA e al 12% del Giappone, l'industria europea non riesce a far tesoro di questa base di conoscenze. Difatti la percentuale di brevetti depositati a livello mondiale dall'Europa si attesta attorno al 36% rispetto al 42% degli USA, a testimonianza delle difficoltà, per l'Europa, di trasformare la R&D in applicazioni. E all'interno dell'Europa l'Italia occupa uno degli ultimi posti.

I livelli di investimento pubblico in Europa variano considerevolmente tra gli stati membri, sia a livello assoluto che pro-capite. Stando alle stime, la spesa pubblica europea per le NN è passata da circa 200 milioni di euro nel 1997 all'attuale miliardo di euro (fra cui il Sesto Programma Quadro), che rappresenta una cifra considerevole in assoluto, ma corrisponde solo a 2,4 euro pro capite contro i 3,7 degli USA o i 6,2 del Giappone. Considerando inoltre le previsioni di investimenti, è probabile che il divario si aggravi ulteriormente.

La differenza principale tra l'Europa e i suoi concorrenti più importanti sta nel rischio che il panorama degli investimenti nelle NN dell'Europa si frammenti in rapporto alla coesistenza di svariati programmi e fondi di finanziamenti che sono espressione delle politiche di ricerca dei vari paesi membri. I

principali concorrenti dell'Europa si contraddistinguono invece per il coordinamento e la centralizzazione dei programmi di ricerca sulle NN.

La ricerca nel campo delle NN è in corso anche nei paesi di prossima adesione all'Europa, i quali partecipano già a diversi progetti mediante programmi quadro comunitari. La Svizzera ha una lunga tradizione di R&S nel campo delle NN e vanta uno dei più alti livelli di brevetti e di pubblicazioni pro capite. Programmi di ricerca sulla NN sono stati avviati anche in altri paesi associati al Sesto Programma Quadro, come la Norvegia.

In Italia, nonostante che interessanti e repute attività di ricerca nel campo delle NN vengano svolte in diversi gruppi o centri situati presso Università ed Enti di ricerca, non esistono specifiche iniziative di finanziamento dedicate alle NN. Solo recentemente fondi per la ricerca di base (FIRB) del MIUR hanno destinato parte delle risorse a programmi indirizzati verso le NN. Tuttavia le cifre destinate sono esigue e le procedure di assegnazione rallentate e prive di una reale programmazione. La "perenne" fase di riorganizzazione degli Enti di ricerca (vedi CNR ed ENEA), l'inspiegabile soppressione dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia (INFM), che nella sua breve esistenza aveva tuttavia dato forte impulso alle NN costituendo Unità di Ricerca dedicate, e la generale scarsa attenzione alla ricerca non costituiscono di certo una buona prospettiva per lo sviluppo in tempi brevi delle NN nel nostro paese.

Ci si deve tuttavia augurare che il nostro paese possa intercettare l'impulso che l'Europa cerca di imprimere alla ricerca sulle NN, in linea con la determinazione Consiglio Europeo di Lisbona del 2000.

Alla luce delle sfide intellettuali, scientifiche e tecniche che si profilano nel campo delle NN, per rimanere competitiva l'Europa deve ambire all'eccellenza nelle attività di R&D. E' indispensabile a tal fine garantire un finanziamento pubblico della R&D, disporre di ricercatori di livello internazionale e dar vita ad una concorrenza tra i gruppi di ricercatori europei. Nel contempo le conoscenze in NN generate grazie alla R&D devono concretizzarsi in prodotti e processi innovativi in grado di accrescere la competitività dell'industria europea. Gli investimenti per la R&D devono aumentare sia a livello comunitario che per

ogni singolo stato membro (in linea con l'obiettivo di Lisbona del 3% del PIL da destinare alla ricerca), in modo complementare e sinergico e affinché venga a crearsi una massa critica necessaria per una competitività a livello internazionale. Attualmente l'Italia destina meno dell'1% del PIL alla ricerca.

E' urgente inoltre che le NN dispongano di infrastrutture di dimensioni ed interesse europei (poli di eccellenza). Oltre a permettere di accedere ad apparecchiature d'avanguardia non sempre disponibili a livello locale, tali infrastrutture dovrebbero raggruppare tutti gli aspetti della R&D interdisciplinare, dell'insegnamento e della prototipazione. Potrebbero inoltre comprendere collaborazioni pubblico-private e servire da incubatrici per attività di *start-up* e di *spin-off*.

Per realizzare in pieno il potenziale delle NN, l'Europa deve inoltre contare su ricercatori e ingegneri interdisciplinari in grado di generare conoscenze e di garantire che queste siano, a loro volta, trasferite all'industria. La corretta valutazione e gestione dei rischi delle nanotecnologie per la salute umana richiede peraltro che l'Europa disponga di tossicologi e analisti del rischio adeguatamente preparati. Le NN sono un settore nuovo e dinamico che rappresenta un forte incentivo per numerosi giovani scienziati e professionisti qualificati ad intraprendere una carriera scientifica. Bisogna perciò attirare i giovani verso le NN. Attualmente l'Europa conta 5,68 ricercatori ogni 1.000 persone attive, rispetto a 8,08 ricercatori negli USA e 9,14 ricercatori in Giappone. Se consideriamo il livello di risorse umane necessario per raggiungere l'obiettivo del 3% entro il 2010 fissato a Lisbona si può stimare che saranno necessari 1.2 milioni di addetti alla ricerca nell'immediato futuro. E' indispensabile quindi porre in essere misure in grado di formare e trattenere ed attirare ricercatori in Europa. Questo sposta il discorso anche sull'insegnamento e la formazione relativa alle NN.

Le NN pongono l'accento sulla necessità di un approccio di insegnamento e formazione dentro le Università di tipo interdisciplinare. Andrebbero previsti corsi universitari in cui gli studenti ricevano una formazione di base in una serie di discipline, indipendentemente dal corso di laurea. Si formerebbero in tal modo generazioni future

di esperti in NN dallo spirito aperto, in grado di interagire con omologhi di altre discipline. Inoltre quello delle NN è un settore dinamico che richiede una formazione permanente per stare al passo con gli sviluppi più recenti. Via via che le NN si avvicinano al mercato è sempre più necessaria una formazione in materia di creazione di attività di *start-up* e/o *spin-off*, gestione dei diritti di proprietà intellettuale, sicurezza e condizioni di lavoro, affinché gli innovatori si trovino nelle condizioni ottimali per ottenere i finanziamenti per le loro iniziative.

Le NN rappresentano per le imprese prospettive eccellenti di innovazione. Tuttavia molte imprese corrono il rischio di non comprenderne le potenzialità in tempo utile e di compromettere la propria competitività. Le imprese europee operano in un contesto estremamente concorrenziale. Per diversi motivi possono essere sottocapitalizzate e dedicare risorse limitate alla R&D e all'innovazione. La maggior parte dei rami delle nanotecnologie è ancora in una fase precoce di sviluppo e i ricercatori con risultati positivi si convertono spesso in imprenditori lanciando nuove imprese in fase di "start up". Circa la metà delle centinaia di

imprese di questo tipo fondate negli ultimi anni hanno sede negli Stati Uniti, mentre solo un quarto si trova in Europa. A livello europeo si pensa ad un intervento della Banca Europea che possa agevolare gli investimenti erogando prestiti e consolidando la base finanziaria delle imprese attive nel settore delle nanotecnologie.

Crediamo che per il nostro paese sia estremamente importante, e soprattutto urgente, elaborare una linea coerente e programmatica di investimenti di R&D nel campo delle NN. Ovviamente riteniamo che l'unica possibilità concreta sia quella di operare nel quadro di riferimento europeo intercettando l'azione programmatica della ricerca europea che prevede un sostanziale incremento dei fondi alla ricerca, un coordinamento efficace dei programmi nazionale, un attento recupero degli obiettivi culturali e di formazione professionale investendo sul capitale umano e sul *networking* dei centri di eccellenza, nonché stimolando fortemente la trasmissione della conoscenza e dell'innovazione verso il sistema produttivo.

SALVATORE CANNISTRARO

Professore Ordinario di Fisica e Biofisica presso la facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università della Tuscia di Viterbo.

Coordina l'attività di ricerca del Centro di Biofisica e Nanoscienze dove, tra l'altro, spettroscopie ottiche a singola molecola e nanoscopie (AFM, STM, SNOM) vengono utilizzate per la costruzione e caratterizzazione di sistemi ibridi per applicazioni in campo bioelettronico e biosensoristico

Contatti:

INFN

Univ. Tuscia

Tel.+39.0761.357136 (027)

Biophysics & Nanoscience Centre

Dip. Scienze Ambientali

Fax +39.0761.357179 (136)

I-01100 Viterbo (Italy)

Email: cannistr@unitus.it