

La ricerca sulle nanotecnologie

DI FEDERICA LODATO E GALDINO BALDON

Le nanotecnologie sono l'insieme dei metodi e delle tecniche per il trattamento della materia a livello di atomo e di molecola che rendono possibile la realizzazione di materiali e prodotti con migliorate caratteristiche rispetto alla produzione "classica". Operare a tali livelli di definizione significa riuscire a studiare, assemblare e modificare i materiali a livello atomico e molecolare, ovvero, a una dimensione di 10^{-9} , corrispondente a un miliardesimo di metro (ossia un milionesi-

Figura 1

Il rapporto tra 1 nanometro e 1 metro corrisponde, grossomodo, al rapporto di grandezza tra il diametro di una pallina da tennis e il diametro del pianeta terra (nella figura non sono ovviamente rispettate le dimensioni)



mo di millimetro) grossomodo una misura 80.000 volte inferiore al diametro di un capello. Per meglio comprendere tale dimensione, si parte con il considerare il sistema metrico internazionale, la cui unità di misura è il metro (m), ben osservabile senza alcuna strumentazione. Si divide il metro in mille parti uguali e si ottiene un millimetro (mm), ancora visibile a occhio nudo. Suddividendo il millimetro in mille parti, si ottiene un micrometro (μm) che si può vedere solo attraverso microscopi ottici o elettronici. Prendendo un micrometro e dividendolo nuovamente per mille si ottiene un nanometro¹ (nm), osservabile con microscopi a scansione di sonda e con microscopi elettronici².

Il termine moderno di “nanotecnologia” fu coniato nel 1974 da Norio Taniguchi, professore dell’Università delle Scienze di Tokyo e fu ripreso in seguito nel 1976 dallo scienziato statunitense Eric Drexler, il quale definì la nanotecnologia come “[...] una tecnologia a livello molecolare che ci potrà permettere di porre ogni atomo dove vogliamo che esso stia. Chiamiamo questa capacità *nanotecnologia*, perché funziona sulla scala del nanometro che corrisponde a 1 miliardesimo di metro”: in pratica il rapporto fra un nanometro e un metro corrisponde, grossomodo, al rapporto di grandezza che esiste tra il diametro di una pallina da tennis e il diametro del pianeta terra (v. Fig. 1).

La dimensione nanometrica, quindi, è di livello atomico: bastano pochi atomi per costituire un nanometro. Gli atomi di solito non godono di una buona reputazione: quando se ne sente parlare si pensa a esplosioni terribili o a radiazioni pericolose. Questi aspetti riguardano però solo le tecniche che utilizzano il nucleo dell’atomo. Le nanotecnologie riguardano il guscio atomico e intervengono a questo livello³. Per lavorare a tali dimensioni (10^{-9}) si impiegano dei macchinari molto sofisticati che sono in grado di agire sui singoli atomi.

Perché agire a tali dimensioni? Perché intervenire sulla materia a livello di atomo significa poter creare nuovi materiali funzionali, strumenti e sistemi con straordinarie proprietà derivanti dalla loro struttura e migliorare la qualità e le caratteristiche di processo esistenti.

I materiali nanostrutturati possono essere creati attraverso due approcci fondamentali: *bottom up* (dal basso verso l’alto) e *top down* (dall’alto verso il basso). Quello *bottom up* si riferisce alla capacità di assemblare il materiale nanostrutturato a partire dalle nanoparticelle che lo costituiranno. In biologia, biomedicina e chimica si usa per lo più questo tipo di approccio. Quello *top down* consiste, invece, nella costruzione di micro e nanostrutture a partire dal blocco massivo di materiale (*bulk*) con tecniche di tipo litografico⁴ che riducono con metodi fisici le dimensioni delle strutture iniziali, portandole a livello micro/nanometrico. Questo metodo è quello più comunemente utilizzato per la creazione di materiali nanostrutturati e trova i principali impieghi nelle applicazioni elettroniche. I due metodi sono impiegati a seconda delle applicazioni da realizzare. Attualmente l’impegno maggiore è volto a ricercare fra di esse la sinergia più adeguata per l’applicazione desiderata: si è giunti

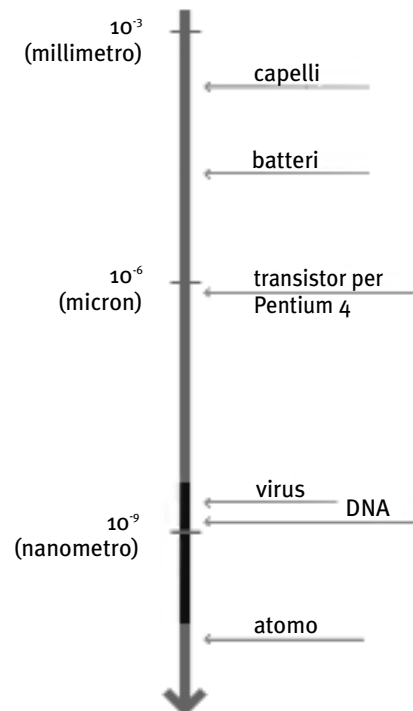
così alle nanoscienze che costituiscono il punto d'incontro fra discipline diverse quali la fisica quantistica, la chimica supramolecolare, la scienza dei materiali, la biologia molecolare e rappresentano una realtà ormai affermata nel mondo della ricerca. Le nanotecnologie, che sono, invece, ancora nella fase iniziale del loro sviluppo, puntano a sfruttare e ad applicare i metodi e le conoscenze derivanti dalle nanoscienze. Fanno riferimento a un insieme di tecnologie, tecniche e processi che richiedono un approccio multidisciplinare e consentono la creazione e utilizzazione di materiali, dispositivi e sistemi con dimensioni nanometriche.

Attraverso l'uso delle nanotecnologie è possibile creare nuovi materiali funzionali, strumenti e sistemi con straordinarie proprietà derivanti dalla loro struttura e implementare qualità e caratteristiche di processi e prodotti esistenti. In sostanza, la "nanotecnologia ci ha dato gli strumenti [...] per *divertirci con i più piccoli giocattoli*⁵ della natura – atomi e molecole. Tutto è fatto di questo [...] La possibilità di creare nuovi materiali appare senza limiti"⁶.

I campi di applicazione delle nanotecnologie sono potenzialmente illimitati e tutti i settori produttivi più importanti ne saranno influenzati in maniera significativa.

Figura 2

Le nanotecnologie sono l'insieme di metodi e tecniche per la manipolazione della materia su scala atomica e molecolare e hanno l'obiettivo di costruire materiali e prodotti con speciali caratteristiche chimico-fisiche.



Evoluzione storica

La modifica delle proprietà dei materiali tradizionali tramite tecniche empiriche e la ricerca di nuove soluzioni sono processi rintracciabili fin dall'antichità, soprattutto nelle scuole epicuree e scettiche del IV sec. a. C. Solo a partire dai primi decenni del XX secolo si è però adottato l'approccio scientifico quando, grazie alla scoperta di nuovi strumenti e apparecchiature, è stato possibile controllare il comportamento dei materiali in relazione alle varie applicazioni.

L'intuizione che fosse possibile manipolare la materia a partire da un singolo atomo risale al 1959 quando il fisico Richard Feynman⁷ espose la relazione dal titolo *There's plenty of room at the bottom*, nella quale sostenne che teoricamente era possibile manipolare la materia atomo per atomo⁸. Parallelamente, negli anni Sessanta, vengono sviluppati i primi circuiti elettronici integrati contraddistinti negli anni successivi da un'enorme e rapida diffusione fino ai giorni nostri. Negli anni Ottanta inizia lo sviluppo della biologia molecolare e dei materiali nanostrutturati e, grazie all'invenzione dell'STM (*Scanning Tunneling Microscope*), si riesce a osservare la materia su scala atomica. Nel 1990 si realizza quanto teorizzato da Feynman: alcuni scienziati costruiscono il primo nanocristallo a partire dai singoli atomi costituenti. Da quel momento inizia lo sviluppo delle nanoscienze e delle nanotecnologie portando ai risultati noti ai giorni nostri.

Le nanotecnologie in natura

Esistono degli "esempi" di nanotecnologia in natura cui l'uomo si ispira per ottenere applicazioni commercialmente interessanti. Tra questi vi è il fior di loto che mantiene pulite le sue foglie anche se nasce e cresce nel fango. Le gocce d'acqua e lo sporco, infatti, scorrono via dalle foglie senza aderirvi. Questo fenomeno è dovuto alla superficie rugosa della pianta che fa rapidamente scivolare via l'acqua ma anche la sporcizia. Tale proprietà, nota come "effetto loto", è stata studiata approfonditamente dal professor Barthlott e dai suoi collaboratori dell'università di Bonn – ed è già utilizzata in una gamma di prodotti, come le pitture per esterni su cui l'acqua scivola via portando con sé lo sporco (idrorepellenza). È molto più facile mantenere pulite le superfici di un qualsivoglia tipo di materiale, se opportunamente trattate con dei ricoprimenti che simulino la superficie delle foglie, poiché l'acqua scivola portando con sé anche le particelle di sporco. Si pensi alle innumerevoli applicazioni industriali: vetri che non si lavano, vernici che impediscono allo sporco (e anche agli spray dei graffittari!!) di attaccarsi, ceramiche "autopulenti" ecc.

Anche il gecko è uno straordinario esempio di nanotecnologia in natura. Queste simpatiche bestioline possono arrampicarsi sui muri, correre a testa in giù sul soffitto e persino rimanervi aggrappati con una zampa. Le insolite capacità di questo animale hanno incuriosito e ispirato anche i nanotecnologi. I polpastrelli del gecko, infatti, sono ricoperti di peli finissimi talmente adattabili che possono avvicinarsi a qual-

che nanometro dal supporto, ricoprendo superfici molto ampie. A quel punto entra in gioco il cosiddetto legame di Van der Waals, una forza debolissima ma che moltiplicata per i milioni di punti di aderenza sostiene il peso del gecko. Il legame si scioglie facilmente per “spellatura”, nello stesso modo in cui si stacca un nastro adesivo. Il gecko riesce così a correre sul soffitto. Sono attualmente allo studio dei super-adesivi che possano simulare le proprietà del gecko, uniche nel loro genere.

Applicazioni

La rapidità di sviluppo delle nanotecnologie impedisce di stilare un esauriente elenco delle applicazioni attualmente disponibili sul mercato. Alcune, che sono o saranno fra le più promettenti, includono:

- sistemi fotovoltaici a elevata efficienza per la conversione dell'energia da solare a elettrica;
- tessuti antimacchia e antistrappo;
- pile, batterie e accumulatori più efficaci, meno inquinanti e più facilmente smaltibili;
- nuovi materiali con elevato rapporto resistenza/peso e con migliori proprietà meccaniche per applicazioni speciali in mezzi di trasporto, in stazioni aerospaziali e nel settore biomedico;
- materiali biocompatibili e strutturati per il rilascio mirato di farmaci nel corpo umano;
- protesi e impianti in tessuti viventi;
- nanosensori e nanobiosensori;
- nanosensori di gas;
- *packaging* alimentare intelligente che indica lo stato di conservazione e migliora la conservazione degli alimenti;
- *chip* microfluidici e tecniche diagnostiche *Lab on a chip* che consentono analisi cliniche e genetiche in tempo reale e in maniera automatica;
- creme solari a base di fullereni e impiego di nanoparticelle nei cosmetici quali additivi;
- catalizzatori ad alta efficienza e sistemi di trattamento di liquidi industriali;
- rivestimenti superficiali su metalli, vetri, polimeri e altri materiali per migliorarne la resistenza alla corrosione, la resistenza all'usura, il coefficiente d'attrito, l'isolamento termico, l'idrorepellenza;
- vernici con migliori proprietà tribologiche⁹;
- utensili da taglio ad altissima tenacità e ridotta fragilità;
- ceramiche a elevata durezza e ridotta fragilità;
- *display* più leggeri, flessibili e meno costosi basati sulle proprietà elettroniche dei polimeri.

Nano Top Ten

Nel 2004, la rivista Forbes/Wolfe ha stilato la classifica dei 10 migliori prodotti nanotech dell'anno:

- **suolette per calzature super isolanti.** Aspen Aerogel ha lanciato delle nuove suolette super isolanti. Sono state usate per la prima volta dal vincitore della Maratona del Polo Nord 2004, dalla squadra canadese di sci e dalle forze speciali dell'esercito americano durante operazioni in climi molto freddi. Il prodotto si basa su un gel che grazie alla sua struttura nanoporosa aumenta l'isolamento termico di 3-20 volte rispetto a un materiale convenzionale dello stesso spessore.

- **Coprimaterasso lavabile.** Si tratta di un coprimaterasso costituito di tre strati. Il primo composto di fibre che impediscono l'assorbimento del sudore e dell'umidità durante il sonno e permettono una rapida asciugatura del tessuto. Il secondo strato, prodotto da Nano-Text, crea una barriera semipermeabile nanostrutturata che intrappola i fluidi che verranno rimossi in fase di lavaggio. Il terzo strato, quello superficiale, è realizzato in tessuto Terry.

- **Palle e mazze da golf.** L'azienda giapponese Maruman & Co produce mazze da golf con teste in titanio rinforzato con fullereni. Esse presentano maggiori durezza superficiali, risultano più resistenti e permettono di incrementare la gittata. Le palle da golf nanostrutturate sono prodotte dall'americana NanoDynamics e permettono un maggior controllo della traiettoria.

- **Cura della pelle personalizzata.** L'azienda Bionova offre dei prodotti personalizzati per la cura della pelle. A tale scopo ha creato creme contenenti nanoparticelle diverse a seconda delle esigenze degli utilizzatori.

- **Bendaggi contenenti nanoparticelle d'argento per ustioni della pelle.** Prodotti dall'azienda canadese Nucrust Pharmaceutical sono dei bendaggi per vittime di gravi ustioni e di ferite croniche. Le nanoparticelle contenute nel bendaggio conferiscono un'efficace azione antibatterica. Esse risultano attive contro oltre 150 tipi di batteri e la loro azione è svolta in tempi rapidi e con una lunga efficacia.

- **Disinfettanti.** L'azienda americana EnviroSystems ha prodotto il disinfettante commercializzato con il nome EcoTrue. Molte compagnie aeree lo utilizzano per prevenire eventuali diffusioni virulente di SARS. Le sue peculiari caratteristiche sono dovute all'emulsione di nanoparticelle. Esse consentono l'impiego di quantità minime di principi disinfettanti, pur garantendo l'efficacia contro germi e batteri.

- **Spray superidrofobico BASF.** L'azienda BASF ha sviluppato lo spray superidrofobico Mincor applicabile su materiali da costruzione quali cementi, mattoni, pietre calcaree e intonaci. L'estrema idrorepellenza minimizza l'adesione fra le goccioline d'acqua che si depositano sulle superfici e impedisce ai liquidi di penetrare in profondità.

- **Trattamento per la trasparenza dei cristalli delle automobili.** Lo spray protettivo Clarity Defender, prodotto dall'azienda Nanofilm, applicato sui cristalli delle automobili li rende repellenti alla pioggia, alla neve, al ghiaccio e al catrame. Il pro-

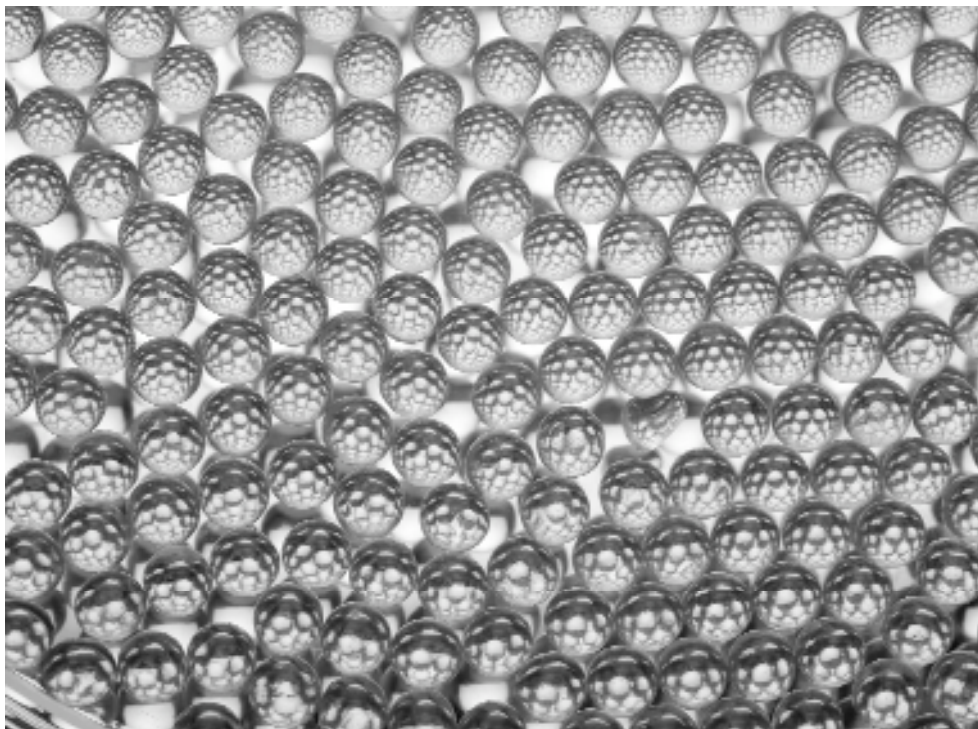
dotto aumenta la visibilità di circa il 34% e, se modificato, può essere applicato anche sulle lenti degli occhiali da sole per conferire proprietà antiriflesso.

- **Crema contro i dolori muscolari.** Flex Power è una crema in grado di lenire i dolori muscolari degli atleti o delle persone che durante la vita di tutti i giorni sono sottoposti ad attività fisiche particolarmente gravose grazie ai liposomi nanometrici presenti nel prodotto.

- **Adesivi per protesi dentali.** Il nuovo adesivo per protesi dentali fisse prodotto da 3M consente una salda adesione all'arcata dentale senza l'ausilio del dentista. Le nanoparticelle di silice consentono l'efficace adesione della protesi senza creare altri inconvenienti.

Le nanotecnologie in Italia

La situazione concernente le nanotecnologie in Italia e, in particolare, alle attività, iniziative, risorse disponibili e attori operanti in tale settore, è stata fotografata da AIRI/Nanotec IT che nel 2004 e 2006 ha realizzato due censimenti. Obiettivo: comprendere meglio il panorama italiano e permettere l'elaborazione di una strategia nazionale di sviluppo dell'utilizzo e applicazione delle nanotecnologie in rapporto al quadro globale internazionale.



© Andrei Tchernov, *Nanoparticelle*, iStockPhoto

Già a partire dal primo censimento era emersa un'attività piuttosto intensa nelle nanotecnologie nel nostro paese, sia nell'ambito della ricerca pubblica che in quella privata. Tale attività è notevolmente cresciuta nel corso degli ultimi 48-72 mesi. Lo dimostra l'aumentato numero delle organizzazioni e strutture (imprese, enti di ricerca, dipartimenti universitari, istituti *ecc.*) attive nelle nanotecnologie: da 120 nel primo censimento a 169, di cui il 58% fa riferimento alla ricerca pubblica e il 42% a imprese private.

Il numero delle persone coinvolte (intese come addetti alla ricerca e sviluppo o *full time* equivalente, compresi PhD e personale con contratti di ricerca temporanei) è più che triplicato, dalle circa 1.330 rilevate nel primo censimento si passa alle 4.300 del secondo, con l'incremento maggiore registrato nel settore privato: da 200 a 2.360 addetti¹⁰. Il numero delle pubblicazioni scientifiche e dei brevetti è molto interessante: 6.989, nel periodo 2002-2005 la quasi totalità delle quali (6.795) pubblicate su riviste internazionali, il 95% proviene da organismi pubblici¹¹. Per i brevetti, i soggetti censiti hanno dichiarato di avere ottenuto, nel periodo 2002-2005, 314 brevetti¹², di cui 94 negli USA, 132 nella UE e 24 in Giappone¹³.

La distribuzione territoriale indica che circa il 70% delle strutture sono concentrate nelle regioni del Centro e Nord Italia. La Lombardia è la regione con la più alta densità. Nel Sud Italia è presente un numero inferiore di strutture, ma si deve sottolineare che alcune di esse sono particolarmente rilevanti in termini di numero di persone, strumentazioni e attività.

La ricerca pubblica e le imprese

L'impegno della ricerca pubblica nello sviluppo delle nanotecnologie è notevole. Secondo AIRI/Nanotec IT, risultano impegnate in questo campo 104 strutture, con un totale di 1.958 addetti. Il maggiore numero di queste fa riferimento al Consorzio Interuniversitario INSTM (40), seguito da altre strutture universitarie non afferenti a INSTM (33), da CNR/INFN (21), INFN, ENEA e altri (10). La situazione cambia se si considera il numero di addetti R&S nelle singole istituzioni. In questo caso il CNR/INFN è quello con più persone, seguito dal Consorzio INSTM e dalle altre università. Anche a questo obiettivo risponde la creazione negli ultimi due-tre anni di centri di eccellenza per le nanotecnologie che fanno riferimento a strutture che operano all'interno del Consorzio INSTM e delle altre Università. Questi sono in totale sette, localizzati presso l'Università e il Politecnico di Milano, l'Università e il Politecnico di Torino, l'Università di Trieste, l'Università di Perugia, l'Università di Calabria.

Il censimento ha evidenziato l'esistenza in Italia di 65 imprese impegnate in questo settore nel 2006 a fronte delle 20 individuate nel 2004. Il 30% di queste imprese è costituito da grandi imprese (con più di 250 addetti), il restante 70% sono PMI. Tra le grandi imprese vi sono importanti aziende nazionali quali Centro Ricerche

Fiat (CRF), Centro Sviluppo Materiali (CSM), Centro Tecnico di Gruppo di Italcementi, Colorobbia, il gruppo Finmeccanica (con imprese quali Alenia Aeronautica, Alcatel-Alenia Spazio, Selex Communication, Selex Sistemi Integrati), ENI-tecnologie, Olivetti i-Jet, Pirelli Labs, Saes Getters, STMicroelectronics.

Il Distretto per le Nanotecnologie e Veneto Nanotech

La creazione di distretti ad alta tecnologia a partire dal 2000¹⁴ è stata la risposta del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per favorire la crescita dell'innovazione e della ricerca applicata, attraverso lo sviluppo delle competenze tecnico-scientifiche e produttive di settori ad alto contenuto tecnologico già presenti sul territorio nazionale.

In Veneto è stato costituito il Distretto per le nanotecnologie in considerazione della presenza di forti competenze scientifiche e produttive e di grandi potenziali applicativi in tale settore. Obiettivo è quello di creare eccellenza internazionale nell'ambito della ricerca e delle applicazioni industriali su tecnologie di sintesi e analisi di nanostrutture e materiali nanostrutturati. Il Veneto, infatti, vanta il più elevato indice d'imprenditorialità a livello nazionale in tale ambito e ha un'alta concentrazione di imprese nei settori maggiormente interessati dalle nanotecnologie. Tali fattori sono risultati elementi fondamentali nella scelta della regione quale sito ideale per lo sviluppo dell'applicazione delle nanotecnologie.

Oltre a ciò, il sistema di ricerca nella regione del Veneto è molto sviluppato, grazie alla presenza di atenei come Padova, Venezia con Cà Foscari e IUAV, Verona e di centri e laboratori di ricerca con valenza nazionale. Sono circa 600 persone che ruotano intorno al mondo delle nanotecnologie tra professori, ricercatori e dottorandi impegnati sia nelle università che nei centri di ricerca dislocati sul territorio.

I numeri, pur rilevanti, non danno la dimensione reale della vivacità del Veneto in termini di risorse umane grazie alla sua capacità storica di attrarre studenti, lavoratori e cervelli dal resto del mondo. Circa 30.000 sono gli studenti iscritti nelle sole facoltà attinenti le nanotecnologie e oltre 6.000 i laureati. Il numero dei dottorandi è anche questo di rilievo, circa 700, e oltre un centinaio quelli che hanno già concluso. I ricercatori delle università del Veneto impegnati nelle nanotecnologie sono quasi 300. Oltre 320 i ricercatori in via di formazione.

Le attività di ricerca, sia fondamentale sia applicata, sono rivolte a molteplici settori; esiste, però, una forte concentrazione in applicazioni delle nanotecnologie ai materiali. I dipartimenti di scienze, in particolare, presentano forti competenze nei trattamenti superficiali sia chimici (deposizione di film sottili con diverse tecniche, trattamenti superficiali *ecc.*) che fisici (fotonica, plasma *ecc.*).

L'università veneta collabora intensamente con il mondo delle imprese che viene considerato uno dei possibili scenari di applicazione e diffusione delle competenze e

conoscenze sviluppate al proprio interno, destinatario di servizi di formazione e potenziale partner in progetti di ricerca.

Per garantire la gestione delle risorse e per rispondere alle necessità di innovazione e di trasferimento tecnologico, nel 2003 è stata creata Veneto Nanotech, che coordina le attività del Distretto. Veneto Nanotech si pone come interlocutore a livello istituzionale e come referente per le aziende e istituti di ricerca interessati a innovare per creare prodotti a contenuto sempre più tecnologico. L'obiettivo è quello di avvicinare le imprese alle nanotecnologie, creando un circolo virtuoso che coinvolga istituzioni di ricerca, imprese innovative e investitori pubblici e privati allo scopo di sviluppare e rafforzare le competenze scientifiche e imprenditoriali nel settore delle nanotecnologie a servizio dello sviluppo regionale e nazionale. Con la nascita di Veneto Nanotech si è voluto creare in Veneto, nel settore delle nanotecnologie, non solo un polo di eccellenza internazionale nella ricerca applicata, ma anche supportare la nascita e lo sviluppo di nuova imprenditorialità tecnologica, favorendo e sviluppando gli investimenti privati nella ricerca.

Veneto Nanotech coordina gli altri importanti attori del Distretto che operano in stretta collaborazione:

- CIVEN (Coordinamento Interuniversitario Veneto per le Nanotecnologie), che si occupa soprattutto di ricerca e di alta formazione (organizza l'IMN, *Interuniversity Master in Nanotechnologies*).

- Nanofab (*Nanofabrication Facility*), uno dei primi laboratori italiani completamente dedicato al trasferimento delle nanotecnologie alla produzione industriale.

- ECSIN (*European Center for the Sustainable Impact of Nanotechnology*), che ha il compito di condurre studi e ricerche per garantire la sicurezza dell'utilizzo di queste nuove tecnologie su ambiente e salute, di sensibilizzare l'opinione pubblica al riguardo e monitorarne la percezione, di supporto alle decisioni giuridico/sociali ed etiche per un utilizzo sicuro delle nanotecnologie.

- LaNN (Laboratorio per la nanofabbricazione e la ricerca su nanodispositivi). Il nuovo laboratorio, ubicato a Padova, potenzierà sia le capacità di ricerca del Distretto, sia le sinergie scientifiche e operative tra Università e CNR. Il laboratorio sarà dedicato allo sviluppo di nanodispositivi. ♦

NOTE

1. Il significato del prefisso “nano” deriva dal greco antico *nano* e contraddistingue ciò che è molto piccolo.
2. Dividendo il nanometro ancora una o due volte per mille, otterremmo il picometro e il femtometro.
3. Commissione Europea, *La Nanotecnologia. Innovazione per il mondo di domani*, 2004, p. 8.
4. Litografia: tecnica di produzione di strutture micro/nanoscopiche mediante un rivestimento fotoreattivo che viene inciso con fasci luminosi e che, una volta sviluppato, evidenzia o nasconde alcune parti della superficie per l’incisione o altri processi.
5. *To play with the ultimate toy box.*
6. Horst Stormer, Lucent Technologies and Columbia University, Premio Nobel per la fisica nel 1988.
7. Premio Nobel della fisica nel 1965.
8. “What I want to talk about is the problem of manipulating and controlling things on a small scale.”
9. Tribologia: disciplina che studia i processi di interazione superficiale tra organi in movimento, e specialmente l’attrito e l’usura che ne deriva.
10. Tale dato va però letto alla luce della forte ripresa del settore della nanoelettronica (tecnologie CMOS sotto i 100 nm) che assorbe un numero molto elevato di persone.
11. Va considerato che, mentre la quasi totalità dei soggetti pubblici hanno risposto alla domanda, di quelli privati solo il 50% lo ha fatto.
12. La situazione effettiva potrebbe tuttavia essere diversa. Solo il 50% circa dei soggetti ha risposto a questa domanda e inoltre, nel questionario, veniva chiesto di indicare solo i brevetti contenenti nel titolo la parola nanotecnologia. Tale limitazione potrebbe essere stata troppo restrittiva e di conseguenza il numero di brevetti riportato potrebbe essere sottostimato.
13. A differenza delle pubblicazioni, in questo caso vi è una prevalenza dell’industria sia pure piuttosto modesta.
14. Un ruolo importante per lo sviluppo tecnologico e industriale e la promozione della collaborazione tra pubblico e privato in Italia è svolto dai distretti tecnologici creati dal MIUR e dalle regioni negli ultimi cinque anni attivi nel settore della nano e biotecnologie. Questi sono, oltre a Veneto Nanotech, il Centro per le Biomedicina Molecolare (CBM) in Friuli Venezia Giulia, il Distretto sui Materiali Polimerici e Composti (IMAST) in Campania e quello su nanoscienze, bioscienze e infoscienze (DHitech) in Puglia. Altri distretti sono in via di definizione in Sicilia e in Umbria.

BIBLIOGRAFIA E FONTI

- *La Nanotecnologia – Innovazione per il mondo di domani*, Commissione Europea, 2004, http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_fr.html
- E. di Zitti, D. Ricci, D. D. Caviglia, *Nanotecnologie e ICT: potenzialità a prospettive*. In "Mondo digitale", n. 3, settembre 2004
- L.J. Whitman, *Nanotechnology, shaping the world atom by atom*, Naval Research Laboratory, NSTC, IWGN, 1999
- A. Bonfiglioli, E.A. Mari, P. Milani, S. Silva, *Nanotecnologie e materiali*, Servitec srl
- R.W. Siegel, E. Hu, M.C. Roco, *Nanostructured science and technology – A world wide study*, WTEC Loyola College in Maryland, NSTC, IWGN
- P. S. Anton, R. Silbergitt, G. Schneidern, *The global technology revolution*, RAND
- "Nanotech Report", Forbes/Wolfe, dicembre 2004, vol. 3, n. 12, <http://www.forbesnanotech.com>
- M. Ristagno, *L'Europa della ricerca al servizio delle imprese*, "Meccanica News", febbraio 2005
- *Atto costitutivo Veneto Nanotech S.C.P.A.*, 31 luglio 2003
- *Protocollo d'intesa per il lancio di Veneto Nanotech S.C.P.A. il Distretto Veneto sulle nanotecnologie*, 17 dicembre 2002
- M. Bernardini, *Nascono a Padova le leghe del futuro*. In "Il Gazzettino", 23 agosto 2005
- "Veneto Innovazione", numeri 5-6, 2005
- R. Saracco, *Il futuro della legge di Moore*, Future Centre, TLAB, Apogeo
- B. Natesan, N. K. Karan, R. S. Katiyar, *Synthesis and transport properties of nano-composite solid polymer electrolytes: Applications to solid-state batteries*, Univ. Puerto Rico, San Juan PR 00931-3343
- NIS, *Film polimerici nanostrutturati*, Università di Torino
- Paolo Mazzoldi, Giovanni Mattei, *Introduzione alle Nanotecnologie e ai Nanosistemi*
- Marco Peloi, *Nanomondi. Scienza tecnica ed estetica del mondo a dieci alla meno nove metri*, Area Science Park, 2007
- *2° Censimento sulle Nanotecnologie in Italia*, AIRI/Nanotec IT, 2006

CONFERENZE

- P. Mulvaney, *Nanoparticles proprieties*, Univ. of Melbourne Australia, 2005
- T. Valente, *Mechanical and thermal properties of nanostructured materials*, Univ. La Sapienza Roma, 2005
- Martucci, *Chemical synthesis of powders*, Università di Padova, 2005
- Brusatin, Martucci, *Sol-gel Process*, Università di Padova, 2005
- D. A. Buttry, *Nanoscience and nanotechnology*, Univ. of Wyoming USA, 2005
- G. Moretti, *Thin film deposition methods: chemical methods (PE-CVD)*, Univ. Venezia, 2005
- Molinari, *Sintering techniques*, Univ. di Trento, 2005
- E. Borsella, *Powder preparation*, UTS FIS, CR ENEA Frascati (Rome), 2005
- G. Torzo, *Introduction to scanning probe microscopy*, Univ. Padova, 2005