
capitolo 2

Prospettive nei settori produttivi in Italia

Luigi Monica (coordinatore), *INAIL, Dipartimento di Tecnologie di Sicurezza - ex ISPESL*
Fabio Boccuni, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*
Andrea Porcari, *AIRI-Nanotec IT*

2.1 Settori di produzione, utilizzo e sviluppo delle nanotecnologie

È opinione pressoché unanime che le nanotecnologie saranno tra i promotori principali dello sviluppo tecnologico di questo inizio del XXI secolo. "Nanotecnologie" è, infatti, un termine collettivo per indicare l'insieme delle tecniche e dei processi basati sulle conoscenze derivanti dalla scienza dei materiali, dalla fisica quantistica, dalla chimica supra-molecolare, dalla biologia molecolare, che consentono di osservare, misurare e manipolare la materia su scala atomica e molecolare (il mondo delle nanotecnologie è quello compreso nell'intervallo 1-100 nanometri). Per la prima volta, sfruttando le proprietà e i comportamenti spesso specifici della materia alla scala nanometrica, si è in grado di manipolarla per ottenere materiali e dispositivi con caratteristiche grandemente migliorate o del tutto nuove.

Le nanotecnologie costituiscono un nuovo modo di produrre e, in conseguenza del loro carattere abilitante, sono ritenute in grado di innescare una vera e propria rivoluzione tecnologica, capace di influenzare quasi tutti i più importanti settori produttivi e la stessa vita quotidiana.

L'attenzione per queste tecnologie emergenti a livello mondiale è cresciuta in maniera quasi esponenziale negli ultimi 8-9 anni ed ha coinvolto tutti i Paesi più importanti. In origine, i finanziamenti pubblici, hanno rappresentato il propellente principale di questa attività, ma negli ultimi anni è cresciuto progressivamente, soprattutto negli Stati Uniti e nell'Est asiatico, anche l'impegno dei privati. Si stima che attualmente, nel mondo, la spesa per ricerca e sviluppo nelle nanotecnologie ammonti complessivamente a più di 13 miliardi di dollari, suddivisi all'incirca in parti uguali, tra settore pubblico e privato (Lux Research, 2008).

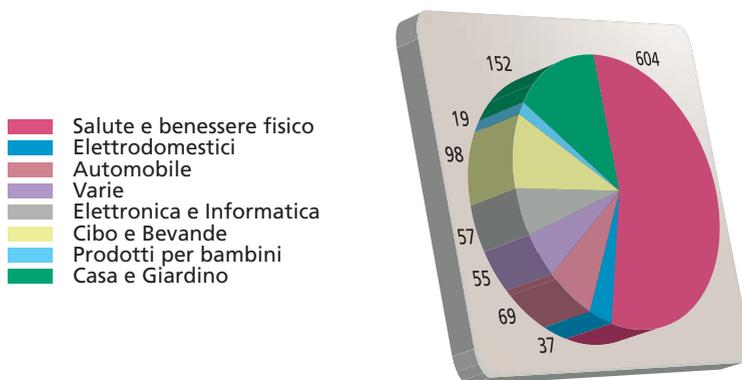
Si stima siano più di 2.000 le imprese che nel mondo sono impegnate in questo settore,

la gran parte (circa il 70%) sono PMI, ma anche molti grandi nomi dell'industria mondiale dedicano risorse crescenti alle nanotecnologie, convinti della loro importanza strategica per accrescere e/o difendere il proprio posizionamento tecnologico e competitivo.

2.1.1. Il mercato delle nanotecnologie

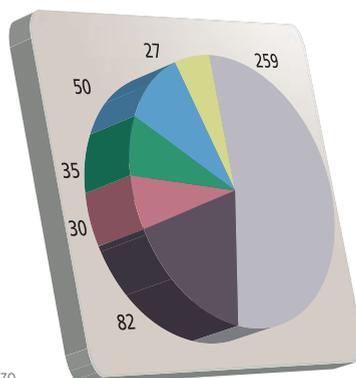
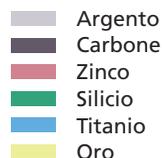
Alcuni prodotti derivanti dalle nanotecnologie (i cosiddetti "nano-related products") sono già in commercio ed una recente indagine negli Stati Uniti ne ha individuati circa 1.000 (Figura 2.1).

a) Aree di utilizzo



Aree di utilizzo	Esempi
Salute e Benessere fisico	Cosmetici, abbigliamento, sport, cura della persona, creme solari, ecc.
Elettrodomestici	Batterie, condizionatori, frigoriferi, lavatrici, purificatori, ecc.
Automobile	Accessori e finiture, sigillanti, lucidatori per macchine, catalizzatori, pneumatici, ecc.
Varie	Rivestimenti e trattamenti superficiali
Elettronica e Informatica	Processori, hard-disk, cuffie, chips, display, pulitori antibatterici per pc, carta, fotografia, ecc.
Cibo e Bevande	Attrezzi da cucina, contenitori per il cibo, integratori di minerali e vitamine, rigeneratori dell'olio per frittura, ecc.
Prodotti per bambini	Peluche e biberon antibatterici, giocattoli, ecc.
Casa e Giardino	Materiali da costruzione e rivestimento, prodotti per la casa, purificatori, prodotti antibatterici per animali domestici, pittura anti-graffio, ecc.

b) Materiali



Fonte: <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>.
 Il Database non è esaustivo, ma in continuo aggiornamento.
 Analisi dell'agosto 2009.
 * Nota: alcuni prodotti sono stati inseriti in diverse aree di utilizzo.

Figura 2.1 – I prodotti di consumo derivati dalle nanotecnologie nel mondo: a) per aree di utilizzo; b) per materiale.

Il mercato dei prodotti nei quali sono incorporate nanotecnologie è stato stimato in circa 147 miliardi di dollari nel 2007 e circa 310 miliardi nel 2008, ma l'analisi della *Lux Research* del 2008 prevede che questo mercato possa crescere fino a circa 3000 miliardi dopo il 2015! (Figura 2.2)

Si ritiene che i settori candidati a trarre maggior vantaggio dall'uso e dalla diffusione delle nanotecnologie siano i seguenti:

- nanoelettronica/fotonica;
- materiali (funzionali e strutturali) con una molteplicità di applicazioni che possono spaziare dai trattamenti superficiali, all'utensileria, al tessile e abbigliamento, alle costruzioni, ecc.;
- cura della salute (nanobiotecnologie, nanomedicina).

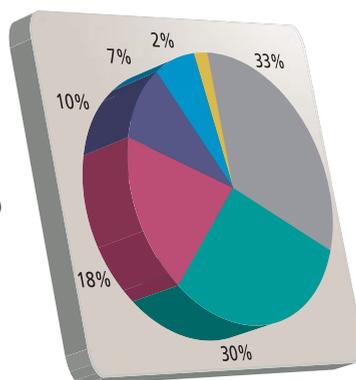
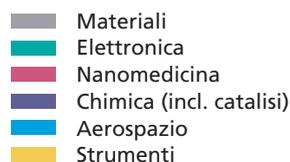


Figura 2.2 – Stima del mercato mondiale dei nanoprodotto al 2015, valori riferiti ad un mercato totale stimato di circa 1000 miliardi di dollari nel 2015 – National Science Foundation, USA.

Tuttavia, anche altri settori fondamentali, quali ad esempio quelli dell'energia, dei trasporti o dell'ambiente, possono trovare nelle nanotecnologie soluzioni grandemente innovative ed efficaci in un'ottica di sviluppo responsabile.

2.1.2. Prospettive di sviluppo in Italia

Le nanotecnologie, come già largamente trattato, interessano in maniera trasversale un'ampia gamma di discipline scientifiche e di settori applicativi. Da ciò deriva la difficoltà di inquadrare tali tecnologie in settori definiti di produzione, utilizzo e sviluppo.

Un recente studio condotto dall'Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI) ha dato vita alla 7° edizione del Rapporto "Tecnologie Prioritarie per l'Industria" e tale studio, pur non essendo esaustivo, dà un'indicazione sufficientemente ampia circa le esigenze di sviluppo in termini tecnologici della parte più innovativa del sistema industriale e dei servizi avanzati del Paese per sostenere le proprie istanze di sviluppo¹ (AIRI, 2009). Le Nanotecnologie sono presenti in 8 settori su 10 analizzati dallo studio² ed in tali ambiti, in un'ottica di sviluppo a breve-medio termine (normalmente 3 anni), un loro ruolo particolarmente importante viene identificato nei seguenti settori:

Microelettronica e semiconduttori

1. "Nano on Micro" (integrazione di nanomateriali su piattaforme microlavorate per sensori e biochip).
2. Tecnologie per componenti optoelettronici e fotonici (nanotecnologie per componenti ottici ad alta integrazione, per sensori di nuova generazione).

Chimica

1. Nanomateriali per catalisi di processi chimici (nanomateriali per catalizzatori in forma solida, per membrane catalitiche, per purificazione e stoccaggio di gas ad alta efficienza e sostenibilità).
2. Imballaggi per alimenti (nanomateriali per ottimizzare la *shelf-life* – data di scadenza – sensori per monitorare lo stato di conservazione del contenuto dell'imballaggio).
3. Formulati cementizi per l'edilizia (nuova possibile discontinuità tecnologica dovuta alle nanotecnologie attraverso il controllo della struttura della materia).

Farmaceutica e biotecnologie

1. Nanotecnologie applicate alla medicina (sistemi di somministrazione di farmaci,

¹ I circa 110 associati industriali di AIRI coprono più del 50% delle spese di R&S dell'intera industria nazionale.

² I 10 settori analizzati in "Tecnologie Prioritarie per l'Industria" sono: Informatica e Telecomunicazioni, Microelettronica e semiconduttori, Energia, Chimica, Farmaceutica & Biotecnologie, Ambiente, Trasporti, Aeronautica, Spazio, Beni strumentali e meccanica.

nanomateriali per dispositivi medici, biosensori, nanobisturi, nuovi sistemi di diagnostica per immagini *in vivo*).

2. Sistemi di trasporto (nanoparticelle fosfolipidiche contenenti molecole con azione farmacologica per la somministrazione mirata dei farmaci).

Energia

1. Tecnologie innovative per la valorizzazione dell'energia solare (fotovoltaico innovativo di terza generazione: nanocristalli semiconduttori; network nanometrico per celle solari organiche).
2. Tecnologie per lo stoccaggio dell'idrogeno (stoccaggio solido in leghe e composti intermetallici innovativi, ossidi nanostrutturati, ecc.).

Ambiente

1. Nuove tecnologie per il trattamento e il riutilizzo delle acque (sviluppo di nuovi materiali nanoporosi *zeolite-like*, ovvero con proprietà analoghe alla zeolite).
2. Sistemi di riduzione dell'inquinamento e controllo della qualità dell'aria (realizzazione di materiali sensibili nanostrutturati, sensori, catalizzatori).

2.2 Mappa delle industrie e dei laboratori di ricerca attivi

2.2.1 Le nanotecnologie in Italia

L'attività nelle nanotecnologie in Italia ha avuto negli ultimi anni un incremento costante e costituisce ormai una realtà di tutto rispetto. Il "2° Censimento delle Nanotecnologie in Italia", (AIRI, 2006) eseguito da AIRI/Nanotec IT nel 2006 (una nuova Terza edizione è in preparazione), ha messo in evidenza la presenza di circa 200 strutture impegnate in attività di Ricerca e Sviluppo (R&S) in questo campo. Circa il 57% di queste fa riferimento ad istituzioni pubbliche ed il restante 43% ad imprese private. Rispetto al primo Censimento del 2004 il numero di queste ultime è più che raddoppiato e sicuramente la terza edizione del Censimento registrerà un'ulteriore crescita. L'attività è distribuita su tutto il territorio nazionale ed in Figura 2.3 è riportato il numero delle strutture (pubbliche e private) che hanno risposto all'ultimo Censimento, presenti in ciascuna Regione. La concentrazione più elevata è nella parte centro-settentrionale del Paese, con la Lombardia, con più del 20% di strutture ed il 30% di addetti riportati dal Censimento, a guidare il lotto. Va tuttavia sottolineato che il Sud, ancorché con numeri più piccoli, non gioca un ruolo secondario, dato che le strutture presenti possono vantare un elevato livello di competenze e di apparecchiature e, in genere, buona massa critica.

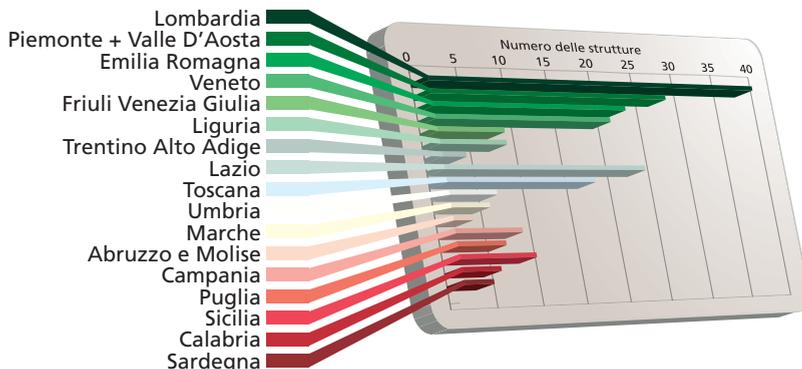


Figura 2.3 – Distribuzione geografica delle strutture di ricerca attive nelle nanotecnologie.

Numerose iniziative sono state intraprese negli ultimi anni con l'obiettivo di migliorare l'uso delle risorse, aumentare l'efficienza operativa complessiva e rafforzare l'impegno. Centri di eccellenza per le nanotecnologie (Tabella 2.1) sono stati creati presso varie Università con il supporto del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) e alcune di esse hanno attivato corsi di laurea (di II livello), Master e Dottorati dedicati alle nanotecnologie. In alcune Università, le attività di ricerca, anche collocate in sedi diverse, sono state collegate indirizzandole verso obiettivi comuni.

Tabella 2.1. Centri di Eccellenza in Italia

• Center for Nanostructured Surfaces and Interfaces (NIS)- Università di Torino
• Laboratory of Electrochemical Miniaturised Technologies for Analysis and Research (LATEMAR)- Politecnico di Torino
• Center of Engineering of Nanostructured Materials and Surfaces (NEMAS)- Politecnico di Milano
• Interdisciplinary Centre for Materials and Nanostructured Interfaces (CIMAINA)- Università di Milano
• Center for Preparation, Development and Characterization of Nanostructured Materials and Surfaces (CENMAT)- Università di Trieste
• Center for Nanostructured Innovative Materials for Chemical, Physical and Biomedical Application (CEMIN)- Università di Perugia
• Center for the Preparation and Treatment of Organic Material at Nano-scale for Application in Photonics, Optoelectronics, Transformation and Separation (CEMIF.CAL)- Università della Calabria

Tra i Distretti Tecnologici creati in alcune Regioni con il supporto del MIUR, al fine di favorire lo sviluppo tecnologico in settori avanzati specifici, alcuni hanno le nanotecnologie tra gli obiettivi prioritari delle loro attività (Tabella 2.2). Veneto Nanotech, avviato nel 2005, si concentra esclusivamente sulle nanotecnologie. Nello stesso anno nel Distretto è stato attivato un laboratorio per la nanofabbricazione, NanoFab, e nel 2007 lo *European Centre for the Sustainable Impact of Nanotechnology (ECSIN*, Centro Europeo per l'Impatto Sostenibile delle Nanotecnologie).

Tab. 2.2 – Distretti Tecnologici impegnati nelle nanotecnologie

Regione	Area/e di ricerca	Coordinamento
Veneto	Nanotecnologie applicate ai materiali	Veneto Nanotech S.c.p.a
Friuli Venezia Giulia	Nano-Biotechnology	Centro per la Biomedicina Molecolare CBM S.c.r.l.
Campania	Materiali Polimerici e Compositi	IMAST S.c.a.r.l.
Puglia	Nanoscienze, Bioscienze, Infoscienze	DHitech S.c.a.r.l.
Umbria	Materiali speciali metallurgici, micro- e nanotecnologie, meccanica avanzata, meccatronica	DTU – Regione Umbria

Lo spettro delle attività di ricerca è molto ampio e le aree di studio non differiscono in maniera sostanziale quando si passa dalle imprese alle strutture di ricerca pubbliche. Particolare attenzione è riservata ai materiali (strutturali e funzionali), alla nanoelettronica e fotonica, alle bioscienze, all’ambito medicale ed alla strumentazione. Come indicato in precedenza, le potenziali ricadute applicative riguardano comparti produttivi fondamentali che vanno da quello della cura della salute, all’elettronica e ICT, dai trasporti, all’ambiente e l’energia, ma anche settori tradizionali, tipici del *made in Italy*, come il tessile e la moda, il calzaturiero, il packaging alimentare, i materiali da costruzione, la meccanica avanzata, i beni culturali.

Crescente, inoltre, è l’attenzione dedicata alle problematiche connesse con lo sviluppo responsabile delle nanotecnologie, fondamentali per il loro successo. Attualmente sono tre i Gruppi di Lavoro impegnati in tal senso: oltre al Gruppo di Lavoro ISPEL, di cui al presente Libro Bianco, il Gruppo di Lavoro UNI – Nanotecnologie, in sintonia con le attività di ISO TC 229 ed il Gruppo di Lavoro INAIL “Rischi emergenti nel campo delle nanotecnologie”.

2.2.2 I protagonisti

A) Le Istituzioni Pubbliche

Le nanotecnologie hanno ormai un posto di rilievo nell’agenda delle principali organizzazioni pubbliche di ricerca (CNR/INFN, INSTM, INFN, ENEA) e dell’Università. Queste ricoprono un ruolo chiave nello sviluppo e nella promozione delle nanotecnologie nel Paese e, come detto, rappresentano complessivamente circa il 57% delle strutture riportate dal Censimento.

Il *Consiglio Nazionale delle Ricerche* (CNR), in cui nel 2004 è confluito l’*Istituto Nazionale per la Fisica della Materia* (INFN), è la maggiore istituzione della ricerca pub-

blica italiana. Tale impegno si è sviluppato parallelamente a iniziative volte ad ottimizzare l'uso delle risorse e, dal 2006, la maggior parte delle iniziative del CNR in materia di nanotecnologie fa riferimento a due dipartimenti creati allo scopo: il *Dipartimento dei Materiali e dei Dispositivi* ed il *Dipartimento della Progettazione Molecolare*³.

Fra gli Istituti, afferenti ai due Dipartimenti e maggiormente impegnati nelle nanotecnologie, ci sono l'*Institute for the Study of Nanostructured Materials* (CNR-ISMN), con sedi a Roma, Bologna e Palermo, il *National Enterprise for nanoScience and nanoTechnology* (CNR-NEST) di Pisa, il *National Nanotechnology Lab* (CNR-NNL) di Lecce, il *NanoStructures and bioSystems at Surfaces* (CNR-S3) di Modena, e l'*Advanced Technology and Nanoscience National Laboratory* (CNR-TASC) con sede a Trieste.

Il *Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali* (INSTM) coordina le Unità di Ricerca collocate in 44 Università italiane ed il suo interesse è rivolto principalmente alle scienze chimiche. Dal 2004, per rendere più efficace l'attività del Consorzio, sono stati creati quindici Centri di Riferimento (INSTM-RC) che collegano unità di ricerca collocate spesso in università differenti. Le nanotecnologie rappresentano l'obiettivo primario (qualche volta esclusivo) della maggior parte di questi centri⁴.

Oltre a quelle facenti riferimento a INSTM, il Censimento ha individuato all'incirca altre 40 strutture universitarie attive nelle nanotecnologie. Queste, come mostrato in Figura 2.4, rappresentano il 35% del totale, e la loro attività si riferisce alla fisica, alla scienza dei materiali, all'ingegneria, (in particolare all'ingegneria elettronica), alla biotecnologia/bioingegneria, alla chimica, alle scienze farmaceutiche e, in un numero limitato di casi, alla meccanica e all'ambiente.

³ sito web di riferimento: http://www.cnr.it/istituti/Perareetematiche_eng.html

⁴ sito web di riferimento: http://87.241.56.172/test_new_version/index.php?targetpage=include-ricerca-laboratori.php

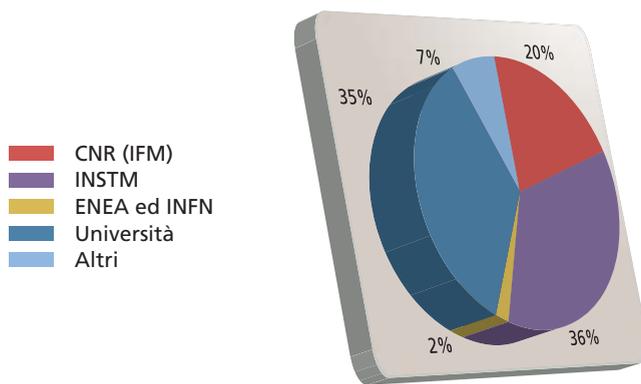


Figura 2.4 – Distribuzione (%) delle strutture tra le Istituzioni prese in considerazione.

Presso l'*Istituto Italiano di Tecnologia* (IIT) è attiva una *Nanobiotech facility* dedicata a sviluppare ricerche nell'ambito delle bio-nanotecnologie. L'Istituto è parte di una rete di centri di ricerca che coinvolge alcuni importanti laboratori nazionali sulle nanotecnologie, quali il CNR-NNL, il CNR-NEST, la *Scuola Superiore Sant'Anna* di Pisa e conduce, anche attraverso questa rete, ricerche in diversi ambiti applicativi delle nanotecnologie, tra i quali la nanomedicina, materiali intelligenti, immagazzinamento e produzione di energia.

Anche l'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) e l'*Ente per l'Energia l'Ambiente e le Nuove Tecnologie* (ENEA) sono impegnati in attività di R&S nelle nanotecnologie anche se il loro impegno è al momento meno intenso rispetto alle istituzioni citate in precedenza. All'ENEA l'attività in questo campo è condotta nell'ambito del Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali (FIM), mentre all'INFN essa è concentrata presso il Laboratori Nazionali di Frascati (LNF).

Riguardo ad aspetti trasversali relativi alle nanotecnologie, quali la metrologia e la caratterizzazione dei nanomateriali ed i potenziali rischi associati a questi, sono attivi l'*Istituto Superiore di Sanità* (ISS), l'*Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica* (INRIM), ed i sopracitati ISPESL e INAIL.

B) L'Industria

Il numero di imprese italiane attive nelle nanotecnologie è cresciuto in maniera costante durante gli ultimi anni ed il 2° Censimento (AIRI, 2006) ha identificato 86 imprese attive in questo campo. Una forte crescita, rispetto al 2004, quando le imprese impegnate nelle nanotecnologie erano risultate essere soltanto 20.

Come mostrato in Figura 2.5, le Piccole e Medie Imprese (PMI), che sono responsabili della maggior parte dell'incremento registrato, rappresentano circa il 70% del totale.

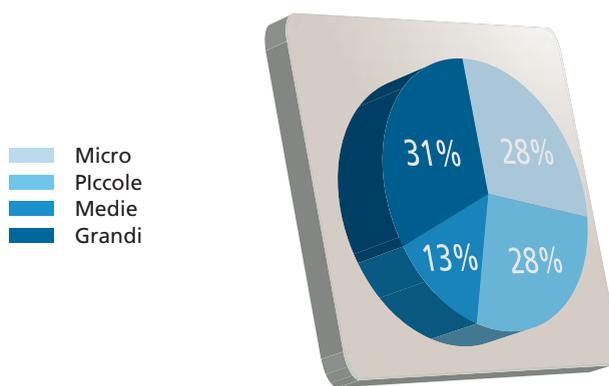


Figura 2.5 – Numero delle strutture (%) con riferimento alla dimensione delle Imprese.

Molte di esse sono di dimensioni micro (con meno di 10 addetti), spesso *spin off* o *start up* (più di un terzo delle PMI sono risultate ricadere in questa tipologia).

Quantitativamente, lo sforzo si concentra nelle strutture che fanno riferimento alle società più grandi. Queste comprendono grandi aziende nazionali come *ENI* (energia e catalizzatori); *Centro Ricerche Fiat-CRF*, *Brembo*, *Pirelli* (settore auto); *Bracco Imaging*, *Fidia Advanced Biopolymers* (biomedicina); *Colorobbia*, (materiali); *Centro Sviluppo Materiali-CSM* (materiali); *CTG* (Italcementi) e *Mapei*, (materiali per costruzioni); *Gruppo Finmeccanica*, che ha raggruppato le proprie attività nelle nanotecnologie nel *Nanomaterials and Nanotechnology Focus Group*, che riunisce le sue società attive nel campo (tra cui in particolare *Alenia Aeronautica*, *MBDA*, *Thales Alenia Space*, *Elsag Datamat*, *Selex Sistemi Integrati*, *Selex Communications*); *Basell Poliolefine*, *Mascioni*, *Saati* (tessili); *Saes Getters* (tecnologie del vuoto); *STMicroelectronics*, *Numonyx* (semiconduttori).

Le PMI non svolgono tuttavia un ruolo marginale e sono importanti per diffondere le applicazioni di queste tecnologie emergenti. Per ricordarne solo alcune, possiamo citare: *Ape Research*, *Avago Technologies*, *Eontych*, *Organic Spintronics*, *Silicon Bio-*

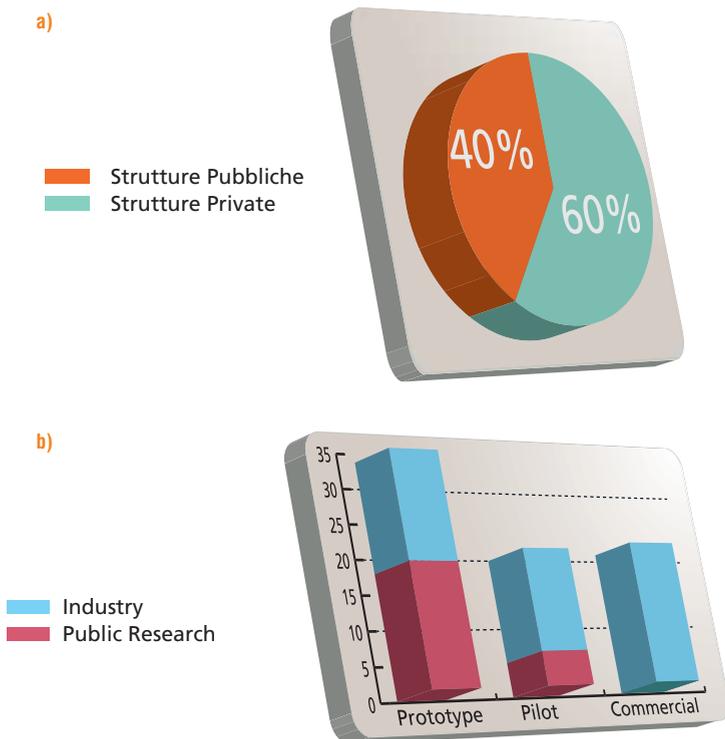


Figura 2.6 – a) Numero di strutture (%) per tipologia; b) Numero di strutture rispetto allo stadio della produzione.

systems, Microla, BilCare Technologies (strumentazione, sensori); *MBN, Xenia materials* (nanomateriali); *Grado Zero Espace, SmartTex, MecTex* (tessili); *Nanosurfaces, Kenosistec, Plasma Solutions* (trattamenti superficiali); *Finceramica, Tethis, Nanovec-tor, Mavisud, Sinerga, Xeptagen* (*nanobiotech*, medicale), *Centro Ricerche Plast Op-tica (lighting), Trustech* (*technology services*).

Le grandi imprese sono normalmente focalizzate sul proprio core business mentre le PMI tendono ad esplorare una più ampia varietà di potenziali applicazioni per ampliare la loro offerta sfruttando il carattere multisettoriale delle nanotecnologie. Il settore della strumentazione vede le PMI particolarmente attive, ma anche il medicale è un settore di notevole interesse per queste imprese, visto che circa il 25% delle PMI è impegnato proprio in questo campo.

2.2.3 Applicazioni e prodotti derivati dalle nanotecnologie

Tra le organizzazioni censite da AIRI, circa il 35% di esse dichiara di sviluppare prodotti nanotecnologici a livello di prototipo, pilota o commerciale. I grafici mostrano come ovviamente solo le strutture private vantino processi a livello commerciale, ma l'aspetto interessante è che alcune strutture pubbliche estendono il loro impegno verso lo sviluppo di prototipi.

2.3 Stime dei lavoratori potenzialmente esposti

Punto critico per qualsiasi processo di analisi del rischio (sia esso emergente o conosciuto) è l'individuazione del valore esposto a rischio; questo passo, nell'ambito della salute e sicurezza del lavoro, si traduce nella stima della popolazione lavorativa esposta. Trattandosi in questa sede di un rischio emergente, quale l'esposizione a nanomateriali deliberatamente prodotti o utilizzati, per il quale esiste una mancanza di informazioni ancora da colmare, tale esposizione non può che essere definita, in questa fase, "potenziale".

In ambito internazionale si segnala l'attività di reportistica presente in letteratura che ha prodotto alcune stime correlate con l'impatto economico della diffusione delle nanotecnologie nella produzione industriale; in questo senso un report di *Lux Research* ha stimato che dieci milioni di impiegati nel settore manifatturiero nel 2014 – l'11% del totale degli impiegati nel settore – saranno coinvolti nella fabbricazione di prodotti nanotecnologici (Lux Research, 2004); un altro studio del NIOSH ha previsto, in linea con la stima precedente, che entro il 2015 il mercato globale dei prodotti nanotecnologici impiegherà un milione di lavoratori negli Stati Uniti (NIOSH, 2007). Un approccio sistematico alla quantificazione dei lavoratori potenzialmente esposti

è stato fornito in un report pubblicato dall'*Health and Safety Executive* (HSE), che propone una metodologia per stimare i lavoratori esposti nel Regno Unito. Nel report si individuano tre gruppi di attività: ricerca e sviluppo delle nanotecnologie in università e aziende; processi esistenti di manifattura ultrafine; processi di manipolazione delle polveri. In aggiunta a queste tre categorie vengono considerati tutti quei processi in cui le nanoparticelle sono un derivato delle produzioni (ad es. saldatura e raffinazione). Con questo criterio vengono stimati circa 105.000 lavoratori potenzialmente esposti nelle prime tre categorie e circa 1.000.000 di lavoratori potenzialmente esposti nella quarta (HSE, 2004).

Sulla base di questo approccio, che divide in quattro categorie i settori lavorativi potenzialmente a rischio, si è tentato di quantificare l'impatto in termini di numero di lavoratori coinvolti nei settori produttivi interessati dalla diffusione delle nanotecnologie, in Italia. Si è stimato che il numero di lavoratori attualmente impiegati nelle categorie economiche potenzialmente coinvolte dallo sviluppo delle nanotecnologie superi le 900.000 unità. Questo risultato fornisce la dimensione dell'impatto potenziale del problema sulla popolazione lavorativa in Italia (Bocconi et al, 2008).

Per passare dalla stima dei lavoratori potenzialmente esposti al numero effettivo degli esposti è necessario analizzare caso per caso le tecnologie impiegate in un processo definito a rischio, identificare le singole fasi di lavoro in cui può verificarsi l'esposizione ed il numero di lavoratori in esse impiegati; quindi analizzare lo scenario in cui avviene l'esposizione, la frequenza, la durata e le caratteristiche dei nanomateriali presenti nell'ambiente di lavoro.

Il *Department of Energy* degli Stati Uniti ha definito "*lavoratore esposto alle nanoparticelle ingegnerizzate*" ogni lavoratore che si trovi in una o più delle seguenti condizioni:

- manipola particelle ingegnerizzate alla scala nanometrica che abbiano il potenziale di disperdersi in aria;
- trascorre quotidianamente (una quantità significativa di) tempo in un'area in cui nanoparticelle ingegnerizzate possono disperdersi potenzialmente in aria;
- lavora con attrezzature che possono essere contaminate o possono rilasciare nanoparticelle ingegnerizzate durante il funzionamento o la manutenzione.

Inoltre, visto lo stato attuale delle conoscenze sui livelli dose-risposta, il documento suggerisce di includere tutti i lavoratori coinvolti nella fabbricazione di prodotti nanotecnologici, a prescindere dal livello (alto o basso) di esposizione. Questa definizione dovrebbe fornire una prima identificazione del numero dei lavoratori esposti al rischio ed è suscettibile di essere ridefinita nel momento in cui nuove informazioni sugli effetti sulla salute si rendano disponibili (US Department of Energy, 2008).

Dall'applicazione di questa definizione in ciascuna realtà lavorativa, derivano le suc-

cessive fasi della valutazione del rischio e le scelte da effettuare nella gestione del rischio in ambiente di lavoro. Pertanto, si può concludere che, date le attuali conoscenze, la stima dei lavoratori esposti deve essere realizzata caso per caso, a seconda della specifica produzione considerata.

2.4 Conclusioni

Da quanto esposto in questo capitolo, risulta evidente come in Italia vi sia un'attività di R&S, nelle nanotecnologie, piuttosto intensa che coinvolge sia la ricerca pubblica che quella industriale. La ricerca pubblica è ancora prevalente, ma l'impegno delle imprese private è crescente e si riferisce ad importanti settori industriali e questo *trend* sembra continuare.

Le nanotecnologie, come detto sopra, possono essere uno strumento strategico di crescita del Paese sia per quanto riguarda i settori ad alto contenuto tecnologico, sia per quelli più tradizionali. Per sfruttare al massimo questa possibilità, tuttavia, sarebbe necessario che ciò avvenisse nell'ambito di una visione strategica nazionale, che porti a far emergere priorità e obiettivi, che consenta di evitare frammentazioni o ridondanze e faccia emergere le eccellenze, faciliti l'ottimizzazione dell'uso delle risorse. In tale ottica, si favorirebbe anche uno sviluppo "responsabile", esigenza, questa, ritenuta unanimemente essenziale affinché le grandi promesse di queste tecnologie si realizzino effettivamente con successo.

Bibliografia

- AIRI. Second Italian Nanotechnology Census, II Edizione. Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI) – Centro Italiano per le Nanotecnologie, Roma. 2006.
- AIRI. Le innovazioni del prossimo futuro. Tecnologie prioritarie per l'industria. VII edizione. Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI), Roma; 2009.
- Bocconi et al. Potential occupational exposure to manufactured nanoparticles in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 2008; 16: 949-56.
- HSE. Nanoparticles: An occupational hygiene review. UK Health and Safety Executive, 2004.
- Lux Research . Sizing nanotechnology's value chain. Lux Research Inc., New York; 2004.
- Lux Research . Overhyped technology starts to reach potential: nanotech to impact \$3.1 trillion in manufactured goods in 2015. Lux Research Inc., New York; 2008.
- NIOSH. Progress toward safe nanotechnology in the workplace. US National Institute of Occupational Safety and Health, 2007.
- US Department of Energy. Approach to Nanomaterial ES&H. US Department of Energy, 2008.

