

# L'importanza industriale delle nanotecnologie e dei nanomateriali

L'articolo è strutturato in quattro parti: un breve riassunto della politica UE per le nanotecnologie e per le Tecnologie Chiave Abilitanti; un quadro generale informativo, comprendente le definizioni, i settori di applicazione, dati sulla produzione e sul mercato; un esame generale degli attori e delle aree di applicazione in Italia; conclusioni.

Le nanotecnologie, insieme con altre cinque Tecnologie Chiave Abilitanti (KETs), sono state identificate come dei motori per la crescita industriale in Europa all'interno del programma Horizon 2020 e di altre iniziative UE. Queste tecnologie promettono di avere un impatto crescente su materiali, strumenti e processi attraverso una estrema varietà di settori industriali, importanti per l'economia italiana e per quella europea.

Le nanotecnologie sono ancora in gran parte ad una fase di ricerca e sviluppo e diverse sfide sono ancora da risolvere per una loro piena valorizzazione. L'Innovazione e la Ricerca Responsabile sono tra queste sfide e sono fondamentale per il loro successo

DOI 10.12910/EAI2015-027

■ A. Porcari, E. Mantovani

## Le nanotecnologie nel contesto delle strategie europee per l'innovazione

Le nanotecnologie sono una delle sei tecnologie chiave abilitanti (Key Enabling Technologies -KETs), considerate strumento fondamentale del programma *Horizon 2020* della Commissione Europea, appena avviato per stimolare la crescita e la competitività industriale del prossimo futuro. Le sei KET sono:

1. nanotecnologie
2. micro/nanoelettronica
3. fotonica
4. materiali avanzati
5. biotecnologie industriali
6. tecnologie di produzione avanzate (AMS, Advanced Manufacturing Systems).

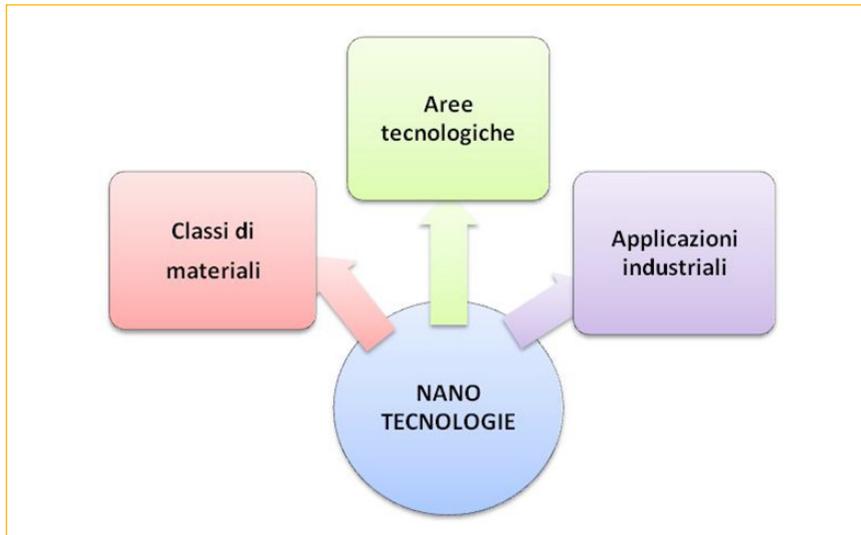
Nell'ambito dell'area prioritaria *Leadership in Industrial Technolo-*

*gies (LEIT)*, *Horizon 2020* prevede uno stanziamento di circa 6,7 miliardi di euro esplicitamente dedicati alle KETs. Di questi, circa un terzo verranno indirizzati verso progetti che affrontano queste tecnologie in una ottica integrata/trasversale (*cross-cutting KETs*), cioè a ricerca ed innovazione che utilizzino in maniera congiunta e sinergica più KETs insieme. A tali fondi si aggiungono quelli che ricadono in altre aree e programmi di finanziamento, per attività che vedono comunque un contributo delle KETs (ad esempio un progetto nell'area *societal challenges*, con oggetto una applicazione realizzata mediante le KETs). Inoltre, è importante ricordare che i finanziamenti H2020 potranno essere integrati con i fondi strutturali nazionali e regionali (la cosiddetta *Smart Specialization Strategy* europea).

Le nanotecnologie sono trasversali alle altre KETs ed in considerazione del loro carattere abilitante e pervasivo, possono avere un impatto su tutte le aree del processo di innovazione e praticamente in tutti i settori industriali, lungo l'intera catena di valore (Figura 1). In termini estremamente semplificati, le nanotecnologie possono essere definite come un approccio radicalmente nuovo di produrre.

Il finanziamento pubblico rimane una leva fondamentale per lo sviluppo di queste tecnologie, come indicato dalle ingenti risorse previste in *Horizon 2020* e dai prece-

Contact person: Andrea Porcari  
porcari@nanotec.it



**FIGURA 1** Le nanotecnologie hanno un impatto trasversale su un ampio spettro di materiali, tecnologie ed applicazioni industriali  
Fonte: AIRI

## Nanotecnologie e nanomateriali

Una definizione generale di nanoscienze, nanotecnologie e nanomateriali redatta sulla base di alcune delle più note definizioni disponibili nell'ambito delle iniziative istituzionali sulle nanotecnologie in Europa e negli Stati Uniti, è riportata nel riquadro. Definizioni più specifiche, basate sulla distribuzione dimensionale, l'area superficiale ed altri parametri fisici, utili per una classificazione oggettiva dei nanomateriali e dei nanoprodotti a fini tecnici e normativi, sono state recentemente pubblicate da parte della International Standard Organization - ISO (Comitato Tecnico Nanotecnologie) e della Commissione Europea [3,4].

A causa delle loro caratteristiche peculiari, unite ad una maturità tecnologica in evoluzione, le nanotecnologie non sono associabili ad una tipologia specifica di industria (come invece avviene con le altre

denti programmi quadro. Negli ultimi anni sono, comunque, progressivamente cresciuti anche gli investimenti privati.

Una valutazione fatta nel 2010 ha stimato in circa 20 miliardi di dollari l'ammontare dell'inve-

stimento globale per R&S nelle nanotecnologie, suddiviso indicativamente in parti uguali tra pubblico e privato. In alcuni paesi, come USA e Giappone, i finanziamenti privati sopravanzavano ormai quelli pubblici [1,2].

### Definizione generale di nanoscienze, nanotecnologie e nanomateriali

**Nanoscienze:** Con il termine "Nanoscienze" si intende l'insieme delle competenze derivanti da discipline diverse che vanno dalla fisica quantistica, alla chimica supramolecolare, alla biologia molecolare, alla scienza dei materiali, utilizzate con il fine di studiare i fenomeni e la manipolazione di materiali alla scala atomica e molecolare, dove caratteristiche e proprietà differiscono significativamente da quelle osservate alla macroscale.

**Nanotecnologie:** un processo o un prodotto che rispetti le seguenti condizioni: sviluppo di ricerca e tecnologia in una scala dimensionale da circa 1 a 100 nanometri; creazione ed utilizzo di strutture, dispositivi e sistemi che abbiano proprietà e funzioni innovative dovute alla loro grandezza; capacità di controllare o manipolare la materia alla scala atomica.

**Nanomateriali ingegnerizzati (o nanomateriali di sintesi):** Il termine nanomateriali ingegnerizzati (o nanomateriali di sintesi) si riferisce ai materiali alla nanoscala, intenzionalmente prodotti in laboratorio o a livello industriale. Non si applica al particolato nella scala dimensionale compresa tra 1 e 100 nm, esistente in natura o proveniente in modo casuale da attività dell'uomo, come per esempio quello derivante da combustione.

KETs) ed è difficile quantificare in maniera puntuale il loro attuale valore di mercato ed il potenziale impatto economico e sociale.

Il numero di imprese con attività specifiche di R&S o produzione nell'ambito delle nanotecnologie presenti in Europa è stimato (dati 2011) in circa 1500-2000 [6]. Non vi sono ad oggi dati precisi riguardo agli utilizzatori finali, quindi aziende che, pur non avendo una attività diretta di R&S specifica in questo campo, utilizzano nanomateriali, componenti e dispositivi basati sulle nanotecnologie per i loro prodotti. Considerata l'attività in corso sulle nanotecnologie ed il livello di produzione dei nanomateriali, sembra ragionevole supporre che il loro numero sia aumentato rispetto al dato suddetto.

Una visione ormai ampiamente accettata sulla progressione dello sviluppo delle nanotecnologie le associa con un susseguirsi di generazioni di prodotti e processi, con caratteristiche di complessità crescente, come mostrato in Figura 2 [5].

Già oggi diversi prodotti che si riferiscono a quelli della cosiddetta prima generazione, ed alcuni prototipi e prodotti relativi alla seconda, sono presenti sul mercato, ma lo sviluppo di prodotti/applicazioni relative alle altre generazioni va visto in un'ottica di medio/lungo periodo.

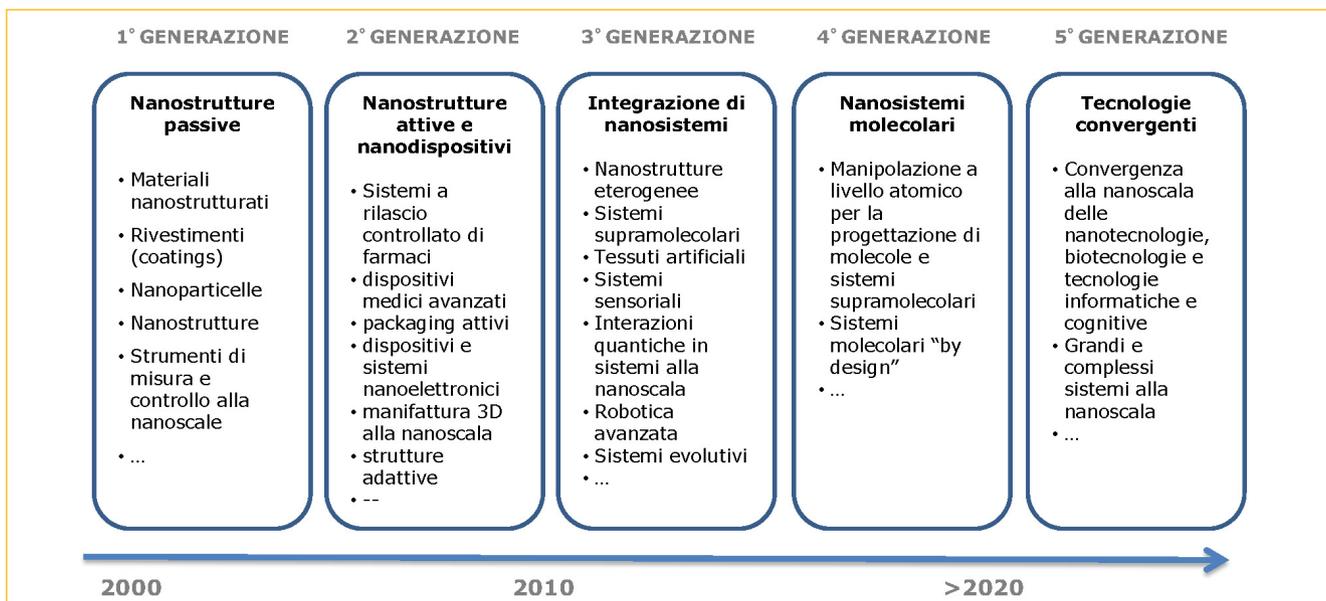
Come già detto, praticamente tutti i principali settori industriali possono trarre vantaggio dalle nanotecnologie. In particolare: chimica e materiali (prodotti e processi), cura della salute e dispositivi me-

dicali, elettronica, ICT, trasporti, energia (immagazzinamento, produzione, trasporto), ambiente.

Una stima qualitativa del mercato globale legato ai prodotti realizzati mediante le nanotecnologie, al 2015, fornisce un'indicazione dei settori principali ai quali essi fanno riferimento [1]:

- materiali: 31%
- elettronica: 28%
- farmaceutica: 17%
- chimica e processi: 9%
- aerospazio: 6%
- altri: 9%

Per quanto riguarda i nanomateriali, solo alcuni di essi vengono già prodotti su scala industriale e venduti sul mercato. I dati disponibili riguardo alla produzione di nanomateriali sono molto variabili. Uno studio del 2012 della



**FIGURA 2** Una visione ormai ampiamente accettata dello sviluppo delle nanotecnologie considera diverse generazioni, con caratteristiche di complessità crescente

Fonte: M.C.Roco, 2001 e 2011 [5]

Commissione Europea riporta un consumo globale di nanomateriali di circa 11,5 milioni di tonnellate annue [7]. La grande maggioranza (>95%) è dovuta al “carbon black” e al silicio amorfo (usati principalmente dall’industria degli pneumatici, nell’elettronica e come *filler* nella produzione di polimeri). Del rimanente 5%, quelli prodotti in maggiore quantità risultano essere l’ossido di alluminio, il titanato di bario, il biossido di titanio, l’ossido di cerio, l’ossido di zinco, seguiti in quantità ancora minori dal nanoargento, e dai composti del carbonio quali i nanotubi di carbonio. A questi va poi aggiunta una molteplicità di altri nanomateriali utilizzati per applicazioni molto specifiche o per attività di prototipazione o sperimentali che sono, tuttavia, prodotti in quantitativi estremamente limitati.

Diversi prodotti di consumo sono interessati all’uso di nanomateriali/nanotecnologie (nel breve-medio termine). Tra questi sono i cosmetici ed i prodotti per la cura della persona, prodotti del tessile e dell’abbigliamento, elettrodomestici, prodotti del confezionamento (alimentare).

Ancorché, come indicato sopra, siano disponibili alcuni dati circa l’impatto delle nanotecnologie, date le loro caratteristiche e trasversalità di utilizzo quantificare il peso e l’impatto delle nanotecnologie nei diversi settori industriali rimane un esercizio complesso. Anche solo considerando un nanomateriale specifico si identificano attività di Ricerca e Sviluppo (R&S) legate ad una molteplicità di possibili applicazioni, prodotti e settori di mercato. Per esempio, nel caso del nanoargento, che può conferire proprietà antibatteriche, si stimano essere presenti ad oggi più di 300 prodotti al consumo a livello globale, suddivisi in almeno una decina di ambiti applicativi, con un utilizzo estremamente diversificato del materiale in termini quantitativi e di tipologia (disperso in matrice, sotto forma di nanoparticelle, rivestimenti ecc.).

### Lo scenario nazionale

L’attività nel campo delle nanotecnologie in Italia è piuttosto intensa, con competenze, collaborazioni, finanziamenti ed opportunità di business che sono cresciute nel

corso degli ultimi anni. Attività sulle nanotecnologie sono presenti nelle maggiori università e centri di ricerca pubblici, presso i grandi gruppi industriali e in diverse PMI ad alta specializzazione tecnologica.

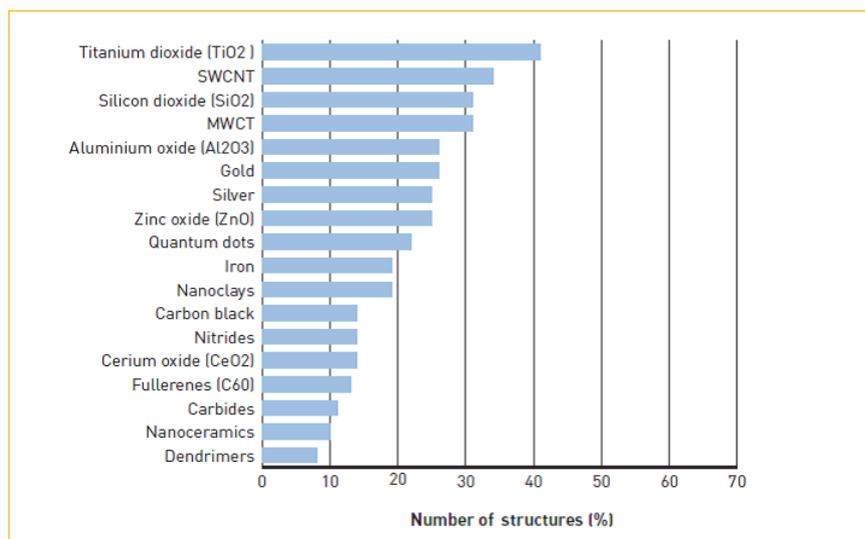
Il crescente impegno a livello pubblico e privato ha permesso lo sviluppo di diverse aggregazioni rilevanti, quali cluster regionali e centri di riferimento universitari. AIRI/Nanotec IT conduce in maniera regolare un Censimento delle iniziative sulle nanotecnologie nel Paese (l’ultima edizione è stata pubblicata nel 2011 [9]). Il documento mostra la presenza di più di 200 strutture con attività di R&S in questo ambito. Di queste, il 55% afferisce alla ricerca pubblica, mentre il restante 45% ad organizzazioni private. Circa due terzi delle strutture private sono PMI, spesso micro (al di sotto di 10 addetti) o piccole imprese, il restante è costituito da grandi imprese, alcune delle quali a carattere multinazionale. Le PMI sono state le principali responsabili della crescita costante del numero di strutture attive in questo campo osservata negli ultimi 6-8 anni.

### Le nanotecnologie in Italia in sintesi

- Buon livello di attività di R&S
- Tutte le principali istituzioni di ricerca pubbliche sono coinvolte
- Crescita costante dell’impegno industriale (grandi industrie e PMI)
- Attività in settori chiave di applicazione: ICT & Elettronica, Trasporti, Farma & Bio, Chimica
- Potenziale di innovazione in settori tipici del Made in Italy
- Crescente presenza sul mercato di prodotti basati sulle nanotecnologie

Le aree verso le quali si rivolgono le attività di R&S sulle nanotecnologie sono numerose, senza sostanziali differenze tra strutture pubbliche e private. La maggior parte di queste attività sono dedicate a materiali strutturali e funzionali, nanomedicina e nanobioteconologie, nanoelettronica ed optoelettronica. Importante, anche se più circoscritta, è anche l'attività nei settori della strumentazione, dei processi e prodotti chimici, dell'energia e dell'ambiente. Notevole attenzione è dedicata alla ricerca di base, anche se, ovviamente, con rilevanza e finalità diverse tra attori pubblici e privati ed alla valutazione dell'impatto delle nanotecnologie sulla salute dell'uomo e sull'ambiente.

La grande maggioranza delle strutture considerate risulta avere attività significative di R&S sui nanomateriali. La Figura 3 mostra in dettaglio la tipologia dei nanomateriali presi in considerazione, in relazione al numero di strutture (in percentuale) nelle quali è svolta tale attività (è importante sottolineare che gli istogrammi non riflettono le quantità dei singoli nanomateriali, ma il numero di strutture impegnate su di essi). Come si può vedere, l'attività riguarda uno spettro di nanomateriali piuttosto ampio, che include diversi composti del carbonio, ossidi di metallo e metalli. Una situazione in buona parte corrispondente con i dati sulla produzione a livello internazionale precedentemente citati. Dai risultati del Censimento, le principali tipologie di utilizzo di tali nanomateriali risul-



**FIGURA 3** Tipologie di nanomateriali in funzione del numero (percentuale) di strutture nazionali con attività di R&S su di essi

Fonte: Third Italian Nanotechnology Census, AIRI, 2011

tano essere in forma di *coatings* e film sottili, nanocompositi, nanoparticelle e materiali nanostrutturati (quali, ad esempio, materiali nanoporosi).

Una valutazione dell'impatto dei nanomateriali e delle nanotecnologie sul sistema industriale italiano è fornita dall'analisi dello studio che AIRI conduce da diversi anni sulle Tecnologie Prioritarie per l'Industria Nazionale [10,11], al quale collaborano oltre cento ricercatori dei più importanti gruppi industriali ed enti pubblici di ricerca italiani.

L'ottava edizione del rapporto, pubblicata a fine 2012, individua 84 tecnologie prioritarie in 8 settori industriali, sulle quali le industrie italiane investono risorse economiche ed intellettuali significative a sostegno del loro impegno di innovazione in un'ottica di breve-medio termine.

Le nanotecnologie ed i nanomateriali interessano tutti gli 8 settori industriali considerati e sono indicate in circa il 50% del totale delle tecnologie prioritarie dello studio AIRI.

L'intero settore della microelettronica e dei semiconduttori fa uso, ormai da diversi anni, di tecniche su scala nanometrica per la realizzazione di dispositivi e sistemi integrati su silicio (componentistica). Tra le tecnologie prioritarie specifiche di questo settore connesse alle nanotecnologie, si possono citare le tecniche di integrazione eterogenea ed il *3D packaging*, la *silicon photonics* e le tecnologie per sensori. Nel settore energia il contributo delle nanotecnologie è fondamentale per il fotovoltaico avanzato. La sinergia tra nanotecnologie, materiali avanzati e sistemi di produzione avanzata consente un incremento delle pre-

## Ricerca ed Innovazione Responsabile nelle Nanotecnologie

Il progetto NanoDiode, avviato nel 2013 nell'ambito del programma NMP del Settimo Programma Quadro (7° PQ) ha l'obiettivo di realizzare un nuovo e coordinato programma di dialogo, coinvolgimento e comunicazione, tra ricercatori, industria, parti sociali, cittadini, in grado di supportare una Ricerca ed Innovazione Responsabile delle nanotecnologie in Europa.



[www.nanodiode.eu](http://www.nanodiode.eu)

stazioni in impianti di produzione dell'energia (quali, per esempio, i cicli combinati a gas naturale) e in diverse tecnologie di separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO<sub>2</sub>.

Nella chimica, le nanotecnologie hanno un ruolo importante nella catalisi di processi chimici (nanocatalizzatori), per applicazioni nel settore ambientale (membrane, filtrazione), per diverse applicazioni relative all'industria manifatturiera, quali per esempio quelle relative a materiali da costruzione ed imballaggi.

Nei settori dell'aeronautica e dei trasporti, nanomateriali e nanotecnologie trovano spazio crescente per applicazioni strutturali e funzionali, al fine di migliorare le prestazioni, l'efficienza energetica, l'impatto ambientale di materiali, strutture e processi. Trattamenti superficiali e nanocompositi sono esempi già oggi ampiamente considerati in questi settori.

Nel settore della cura della salute, le nanotecnologie e le nanobiotecnologie promettono, in un'ottica di medio - lungo periodo, di portare una vera e propria rivoluzione in ambiti quali diagnostica,

farmaceutica e *drug delivery*, tecnologie mini-invasive, ingegneria tissutale.

Nel settore dei beni strumentali (meccanica e strumentazione), le nanotecnologie hanno un ruolo importante nella realizzazione di sensori e componenti meccatronici ad alte prestazioni, nei (nano) materiali strutturali per componenti, macchine e sistemi che migliorino prestazioni, consumi ed impatto ambientale.

### Conclusioni

Le nanotecnologie, in sinergia con le altre Key Enabling Technologies, sono ritenute dall'Europa, come anche dalle altre principali economie mondiali, fondamentali per sostenere i processi di innovazione e di sviluppo e favorire la competitività dell'industria manifatturiera del prossimo futuro, consentendo la realizzazione di prodotti e processi migliorati o del tutto innovativi, ad alto valore aggiunto.

Anche se le realizzazioni più rivoluzionarie debbono essere viste in un orizzonte di lungo periodo, già nel breve-medio periodo le nano-

tecnologie possono contribuire in maniera rilevante a realizzare e migliorare prodotti, componenti e sistemi in settori industriali di grande rilievo per l'economia nazionale.

I problemi da superare sono, tuttavia, ancora molti e richiedono un impegno di ricerca rilevante e continuo. Anche nel caso di applicazioni a breve termine, rimangono da risolvere sia aspetti conoscitivi di base che tecnico-scientifici, quali *scaling-up*, ingegnerizzazione, ottimizzazione di processo, sia questioni legate alla commercializzazione, quali la corretta individuazione di tutte le opportunità di mercato e delle strategie di commercializzazione, la competizione da parte delle tecnologie esistenti (rapporto costi-benefici) e la gestione del rischio.

Il problema della sicurezza e quello di una ricerca ed innovazione responsabili sono fattori chiave da affrontare nello sviluppo di queste tecnologie, se si vuole che le aspettative riposte in esse si realizzino appieno. Le caratteristiche di complessità, l'atteso impatto economico, l'attenzione da parte della società per le potenziali im-

plicazioni etico-sociali che hanno affiancato le nanotecnologie sin dalle prime fasi del loro sviluppo, fanno del raggiungimento di questo obiettivo una sfida ardua da affrontare.

Questo rende indispensabile un processo interattivo di dialogo,

trasparente e costante, tra tutti gli *stakeholder* coinvolti (innovatori e parti sociali) per promuovere una innovazione che sia sicura, eticamente accettabile e rispondente a bisogni reali della società. Il dibattito su questi temi è intenso e al suo sostegno c'è un forte impegno

anche da parte della Commissione Europea. Ricerca e Innovazione Responsabile, per uno sviluppo sostenibile, è obiettivo centrale di Horizon 2020. ●

Andrea Porcari, Elvio Mantovani  
Associazione Italiana  
per la Ricerca Industriale (AIRI) - Roma

#### bibliografia

- [1] Klotz Gernot, *Nanotechnology: a sustainable basis for competitiveness and growth in Europe*, High Level Group on Key Enabling Technologies, December 2010
- [2] Lux Research, *Global Nanotech Spending*, presentato alla Conferenza EuroNanoForum 2011, 30 maggio 2011
- [3] International Standards Organization – Technical Committee on Nanotechnologies (ISO TC 229), *Nanotechnologies business plan*, gennaio 2011
- [4] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee, *Definition of Nanomaterials*, October 2011
- [5] M. C. Roco et al, US Nanotechnology initiative, *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020, Retrospective and outlook summary*, 2011
- [6] The ObservatoryNano Project, *European Nanotechnology Landscape Report*, 2012
- [7] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee, *Second Regulatory Review on Nanomaterials*, COM(2012) 572 final, October 2012
- [8] INAIL, *Libro Bianco: esposizione a nanomateriali ingegnerizzati ed effetti sulla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro*, 2011
- [9] Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI), *Third Italian Nanotechnology Census*, Giugno 2011
- [10] Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI), *Tecnologie Prioritarie per l'Industria Italiana: Innovazioni per il prossimo futuro*, dicembre 2012
- [11] Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI), *Key Enabling Technologies: their role in the priority technologies for the Italian industry*, Apr 2013

