

# LIBRO BIANCO

ESPOSIZIONE A NANOMATERIALI  
INGEGNERIZZATI  
ED EFFETTI SULLA SALUTE  
E SICUREZZA NEI LUOGHI  
DI LAVORO

A cura del Network Nazionale  
per l'individuazione di misure di prevenzione e protezione  
connesse con l'esposizione a nanomateriali  
in ambito lavorativo (NanOSH Italia)



## **COORDINAMENTO SCIENTIFICO**

Sergio Iavicoli, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

## **AUTORI**

Stefano Bellucci, *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati*

Enrico Bergamaschi, *Università degli Studi di Parma*

Pier Alberto Bertazzi, *Clinica del Lavoro "Luigi Devoto", Università degli Studi di Milano*

Fabio Boccuni, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Giuseppe Bonifaci, *INAIL, Sovrintendenza Medica Generale*

Stefano Casciardi, *INAIL, Dipartimento di Igiene del Lavoro - ex ISPESL*

Paola Castellano, *INAIL, Dipartimento di Igiene del Lavoro - ex ISPESL*

Giuseppe Castellet y Ballarà, *INAIL, CONTARP*

Delia Cavallo, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Domenico Cavallo, *Clinica del Lavoro "Luigi Devoto", Università degli Studi di Milano*

Danilo Cottica, *Fondazione Salvatore Maugeri di Pavia*

Carla Fanizza, *INAIL, Dipartimento di Installazioni di Produzione e Insempiamenti Antropici - ex ISPESL*

Luca Fontana, *Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma*

Flaminio Galli, *INAIL, Direzione Centrale Prevenzione*

Angela Goggiamani, *INAIL, Sovrintendenza Medica Generale*

Matteo Goldoni, *INAIL, Centro Studi e Ricerche di Parma - ex ISPESL*

Elena Grignani, *Fondazione Salvatore Maugeri di Pavia*

Sergio Iavicoli, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Ivo Iavicoli, *Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma*

Francesca Larese Filon, *Università degli Studi di Trieste*

Andrea Magrini, *Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"*

Elvio Mantovani, *AIRI-Nanotec IT*

Achille Marconi, *Istituto Superiore di Sanità*

Marco Mirabile, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Luigi Monica, *INAIL, Dipartimento di Tecnologie di Sicurezza - ex ISPESL*

Antonio Pietrojusti, *Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"*

Andrea Porcari, *AIRI-Nanotec IT*

Lorenzo Sacchi, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Cinzia Lucia Ursini, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

## **GRUPPO EDITORIALE**

Fabio Boccuni, *(Coordinamento Segreteria Scientifica "NanOSH Italia"), INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Marina Catelli, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Paola Castellano, *INAIL, Dipartimento di Igiene del Lavoro - ex ISPESL*

Sergio Iavicoli, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Laura Medei, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

Cinzia Lucia Ursini, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

**Realizzazione a cura di** *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

La costituzione del Polo della Salute e della Sicurezza, avvenuta a seguito del riordino degli Enti, rappresenta una scelta politica di straordinaria importanza per il Sistema Paese.

L'INAIL, attraverso l'incorporazione di ISPEL e IPSEMA, attori istituzionali strategici in materia, diventa un vero e proprio consulente globale della sicurezza e della prevenzione sui luoghi di lavoro.

L'obiettivo è chiaro: migliorare le prestazioni e gli standard qualitativi dei servizi lungo le quattro aree tematiche di prevenzione, tutela assicurativa, cura e riabilitazione/reinserimento.

In tale percorso il ruolo della ricerca è fondamentale e, con l'acquisizione delle funzioni già proprie dell'ISPEL, l'Istituto si arricchisce di nuove professionalità che, unite a quelle esistenti, non possono che potenziarne l'azione.

Oggi, per i cosiddetti "rischi lavorativi tradizionali" siamo in grado di offrire un'adeguata tutela integrata, ma la continua innovazione tecnologica ci pone di fronte a nuove problematiche per la soluzione delle quali è indispensabile che la ricerca svolga appieno il suo ruolo.

Questo Libro Bianco sulle nanotecnologie, la cui stesura è iniziata nel 2009, rappresenta, dunque, uno dei primi atti di condivisione e collaborazione nell'ambito dell'avvenuta incorporazione tra Enti che hanno avuto, finora, storie diverse, ma un comune obiettivo: la tutela e la sicurezza dei lavoratori.

Marco Fabio Sartori  
*Presidente dell'INAIL*

“ . . . **E** siste una preoccupazione a livello mondiale circa i rischi, precedentemente sconosciuti, causati dalle nuove tecnologie, dai nuovi processi operativi e dai cambiamenti strutturali. Di solito le nuove scoperte avvengono e sono applicate dall’industria prima che siano ben chiari i loro effetti sulla salute e sulla sicurezza...”.

*(ILO, International Labour Office, Giornata Mondiale per la salute e la sicurezza sul lavoro, 28 aprile 2010).*

L’ILO, in relazione allo studio dei nano materiali, ha così sottolineato l’esigenza sempre più pressante che la ricerca scientifica si applichi allo studio dei rischi lavorativi derivanti dalle nuove tecnologie, attraverso un metodo di condivisione delle conoscenze e di confronto sui progressi e sulle carenze della ricerca applicata, volto ad individuare strategie innovative e promuovere la creazione e il potenziamento di partnership tra le Istituzioni nazionali- internazionali competenti e le reti esistenti in questo campo.

La ricerca scientifica nel settore della salute e sicurezza sul lavoro fornisce, da sempre, contributi rigorosi ed elabora strumenti per la predisposizione di procedure di valutazione e gestione dei rischi negli ambienti di lavoro. Ora è chiamata allo studio di un nuovo contesto, quanto mai complesso, legato ai rischi emergenti dall’uso delle nanotecnologie.

Ecco il perché di questo Libro Bianco, nato dalla collaborazione e dal dialogo tra figure professionali competenti e avviato, nel 2009, dall’Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL), le cui funzioni sono state recentemente acquisite dall’INAIL.

Nell’ambito della salute e della sicurezza dei lavoratori l’attività di ricerca svolge un ruolo basilare e irrinunciabile, ed è per questo che sono particolarmente lieto di presentare questo preziosissimo contributo.

Giuseppe Lucibello  
*Direttore Generale dell’INAIL*

# Prefazione

L'Istituto Superiore per la Prevenzione E la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) da alcuni anni sostiene l'importanza di valutare la situazione attuale sulla sicurezza e la salute legate allo sviluppo delle nanotecnologie in ambiente di lavoro.

Le nanotecnologie trovano applicazione in vari settori, tra cui sanità, biotecnologie, produzione di energia pulita, informazione e comunicazioni, chimica, industrie elettroniche e militari, agricoltura ed edilizia. Si prevede che entro il 2020 il 20% circa di tutti i prodotti fabbricati nel mondo impiegheranno una certa quota di nanotecnologie. Si tratta tuttavia di tecnologie emergenti ed i rischi associati alla produzione e all'utilizzo di nanomateriali sono per lo più sconosciuti. C'è un sostanziale squilibrio di conoscenze tra applicazione delle nanotecnologie e il loro impatto sulla salute. Le informazioni attualmente disponibili sugli effetti sulla salute e la valutazione del rischio da nanomateriali nei luoghi di lavoro sono limitate; non sono ancora note metodologie sistematiche per valutarne l'esposizione e, dato l'uso intensivo e altamente diversificato che l'industria fa dei nanomateriali, è difficile effettuare una stima del numero di lavoratori esposti.

Questa lacuna di conoscenze impone alla comunità scientifica del settore della Salute e Sicurezza del Lavoro la necessità di unire gli sforzi per fornire una opinione condivisa sulla sicurezza e la salute dei lavoratori che utilizzano, manipolano o producono nanomateriali. La collaborazione in ambito nazionale ed internazionale risulta cruciale per valutare e gestire correttamente questo rischio emergente.

In quest'ottica l'ISPESL ha avviato una serie di iniziative di ricerca nel settore, tra cui la creazione del un Network Nazionale *ad-hoc* sulla materia (denominato "NanOSH Italia") con le finalità di promuovere la cooperazione e avviare attività integrate di ricerca nell'ambito dei rischi da esposizione lavorativa a nanomateriali, sviluppando un approccio multidisciplinare per la valutazione del rischio.

Primo risultato di questa collaborazione è il presente Libro Bianco con cui si intende contribuire ad avviare una seria ed autorevole discussione per la definizione delle *policy* necessarie ad assicurare uno sviluppo delle nanotecnologie in Italia, lungo la linea dell'equilibrio tra esigenze di competitività e sostenibilità, e riduzione del rischio per i lavoratori.

*Il Coordinatore Scientifico*

Dott. Sergio Iavicoli

# Indice degli argomenti

Sommario Esecutivo	9
Introduzione	23
<b>Capitolo 1</b> Definizioni dei nanomateriali	25
1.1 Definizione dimensionale e strutturale dei nanomateriali	25
1.2 Definizione chimico-fisica e chimica dei nanomateriali	30
Bibliografia	39
<b>Capitolo 2</b> Prospettive nei settori produttivi in Italia	43
2.1 Settori di produzione, utilizzo e sviluppo delle nanotecnologie	43
2.2 Mappa delle industrie e dei laboratori di ricerca attivi	47
2.3 Stime dei lavoratori potenzialmente esposti	53
2.4 Conclusioni	55
Bibliografia	55
<b>Capitolo 3</b> Mappatura e necessità della ricerca	57
3.1 Andamento della ricerca nell'ambito dei FP dell'UE	57
3.2 Iniziative in ambito nazionale	65
Bibliografia	78
Allegati	79
<b>Capitolo 4</b> Protocolli di acquisizione delle informazioni e metodi di caratterizzazione dell'esposizione a nanomateriali	95
4.1 Identificazione delle fonti di aerodispersione	95
4.2 Potenziali vie di esposizione	100
4.3 Rassegna di metodi per la caratterizzazione dell'esposizione inalatoria a nanomateriali.	105
4.4 Approccio alla valutazione dell'esposizione professionale a nanomateriali: la strategia	115
Bibliografia	120

<b>Capitolo 5</b> Effetti sulla salute dei nanomateriali ingegnerizzati	125
Premessa	125
5.1 Effetti genotossici ed ossidativi	129
5.2 Effetti citotossici	135
5.3 Effetti respiratori	142
5.4 Effetti cutanei	149
5.5 Effetti sul Sistema Nervoso Centrale	154
5.6 Effetti cardiovascolari	163
5.7 Effetti immunologici	168
Bibliografia	171
<b>Capitolo 6</b> Valutazione e gestione del rischio	183
6.1 Principio di precauzione	183
6.2 Approccio alla Valutazione del Rischio	185
6.3 Possibili misure di prevenzione e protezione	189
6.4 Esempi di Buone Pratiche	191
Bibliografia	198
<b>Capitolo 7</b> Prospettive di policy e strategie di comunicazione	199
7.1 La regolamentazione nello sviluppo delle nanotecnologie	199
7.2 Necessità di sviluppo della Comunicazione del Rischio	210
Bibliografia	220
<b>Glossario</b>	223



# Sommario esecutivo

## 1. Definizioni dei nanomateriali

Le nanotecnologie presto troveranno applicazione in molti ambiti della vita e del lavoro rendendo possibili forti innovazioni, pertanto sorge la necessità di fornire all'industria ed alla ricerca gli strumenti adatti per lo sviluppo e l'utilizzo responsabile e sostenibile di tali tecnologie. Inoltre, risulta essenziale avere a disposizione sistemi di misura validi e protocolli di valutazione basati su standard di indubbia certezza.

L'utilizzo di una terminologia univoca nella descrizione dei concetti fondamentali e di definizioni e classificazioni, riconosciute dai principali organismi e istituzioni del settore, è la base per affrontare un approccio alla salute e sicurezza occupazionale per il rischio emergente introdotto dalle nanotecnologie.

Il campo d'interesse del Libro Bianco è circoscritto agli aspetti legati all'esposizione in ambiente di lavoro a nanomateriali (NM) ingegnerizzati (o specificatamente prodotti). Questi possiedono caratteristiche chimico-fisiche ben precise che li distinguono dal resto del particolato ambientale e che possono contribuire alla definizione della pericolosità nel contesto dell'interazione con l'organismo umano (quali dimensioni, massa, composizione chimica, area superficiale, concentrazione, stato di aggregazione e di agglomerazione, solubilità in acqua e chimica superficiale, struttura morfologica); tuttavia, ad oggi, non risulta ancora opportunamente definita un'opinione univoca circa le specifiche relazioni con gli effetti tossici.

L'esperienza derivante dagli studi di igiene industriale può costituire un punto di partenza su cui sviluppare ed ampliare la valutazione del rischio. È però fondamentale, al fine di fissare opportuni limiti igienistici di riferimento per l'esposizione e per la messa a punto di adeguati sistemi di prevenzione e di protezione per i lavoratori e per l'ambiente, individuare in maniera univoca i parametri "corretti" da valutare in relazione agli aspetti di tossicità, ricorrendo, a supporto degli studi inerenti l'interazione biologica, ad un approccio metrologico multiparametrico, caratterizzato dall'utilizzo di opportune tecniche di valutazione dell'esposizione e di monitoraggio negli ambienti di lavoro.

## 2. Prospettive nei settori produttivi in Italia

Le nanotecnologie 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.

La situazione a livello nazionale è fotografata nel "Secondo Censimento delle nanotecnologie in Italia", realizzato da AIRI/Nanotec IT nel 2006. Il documento ha messo in evi-

denza l'esistenza nel Paese di un'attività consistente che coinvolge circa 180 tra strutture di ricerca pubbliche e imprese. L'attività è distribuita su tutto il territorio nazionale, con circa il 57% di strutture situate al Nord, il 28% al Centro ed il restante 15% al Sud.

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 sono stati creati in diverse Università; attività di ricerca, anche collocate in sedi diverse, sono state collegate indirizzandole verso obiettivi comuni; alcuni Distretti Tecnologici hanno fatto delle nanotecnologie un'area prioritaria di ricerca.

L'attività di ricerca e sviluppo in corso, a livello sia pubblico sia privato, riguarda un ampio spettro di ambiti tematici quali chimica e materiali (strutturali e funzionali), nanoelettronica e fotonica, bio(nano)scienze, medicale e strumentazione. Le potenziali ricadute applicative riguardano comparti produttivi fondamentali che vanno da quello della farmaceutica e sviluppo di dispositivi elettromedicali, alla cosmetica, all'elettronica e informatica, dai trasporti, all'ambiente e all'energia, ma anche a settori che interessano tipicamente le piccole e medie imprese, come il tessile e la moda, il calzaturiero, l'alimentare, i materiali da costruzione, la meccanica avanzate e la salvaguardia dei beni culturali.

Inoltre, nanoscienze e nanotecnologie hanno un ruolo di rilievo nei programmi dei principali Enti di Ricerca e delle Università italiani, nell'ambito dei quali sono presenti strutture e competenze riconosciute a livello internazionale. Riguardo ad aspetti trasversali relativi alle nanotecnologie, quali la metrologia e la caratterizzazione dei NM ed i potenziali rischi associati a questi, sono attivi il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN), l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (I.N.RI.M), l'Istituto Superiore per la Prevenzione e per la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL) e l'Istituto Nazionale Infortuni sul Lavoro (INAIL).

Infine, un recente studio condotto dall'Associazione Italiana per la Ricerca Industriale (AIRI) nel 2009, fornisce 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 sviluppo. Alle nanotecnologie viene attribuito un ruolo particolarmente importante nei settori microelettronica e semiconduttori, chimica, farmaceutica e biotecnologie energia, ambiente, in un'ottica di sviluppo a breve-medio termine (normalmente 3 anni).

### **3. Mappatura e necessità della Ricerca**

Le principali iniziative di ricerca nazionali finanziate sull'impatto delle nanotecnologie su salute, ambiente e sicurezza, le quali hanno evidente rilevanza per la ricerca in

ambito di Salute e Sicurezza dei Lavoratori si collocano all'interno dei Programmi Quadro di ricerca della Commissione Europea, in qualità di partenariati o coordinamento di progetti, e all'interno di progetti finanziati da alcuni Ministeri e dalle Regioni.

In ambito Europeo, i Programmi Quadro di Ricerca e Sviluppo Tecnologico (Framework Programmes – FP) costituiscono, dal 1984, il principale strumento finanziario attraverso cui la Commissione Europea, organo esecutivo dell'Unione Europea, indirizza e sostiene la ricerca sull'innovazione tecnologica basata sulla collaborazione transnazionale. In questi 25 anni se ne sono succeduti sette: il FP7, l'ultimo in ordine di tempo, è stato avviato nel 2007 e si concluderà nel 2013.

Per quanto riguarda i progetti di ricerca finanziati, che riguardano gli impatti su ambiente, salute e sicurezza (Environmental, Health and Safety – EHS) delle nanotecnologie, con evidenti ricadute in ambito di salute e sicurezza del lavoro, si riscontra una presenza significativa delle organizzazioni italiane. Nel FP6 su quindici progetti di ricerca relativi all'impatto delle nanotecnologie su salute e sicurezza, sette vedono la partecipazione di partner italiani, mentre nel FP7 sui dieci progetti avviati nei primi due anni operatività (fino al settembre 2009) quattro vedono la partecipazione di partner italiani.

Complessivamente su 28 progetti finanziati nel corso degli ultimi tre programmi quadro (1998 – 2009), 12 vedono la partecipazione di partner italiani. I partenariati italiani sono complessivamente 19 ad opera di 16 organizzazioni diverse (dato che alcune di esse partecipano a più progetti). Si tratta per il 43% di Enti Pubblici di Ricerca (sono comprese in questa categoria anche le Università), per il 38% di società private e per il 19% di organizzazioni non governative (ONG).

Per quanto riguarda il piano finanziario, negli ultimi tre FP, oltre il 50% dei finanziamenti per la ricerca sugli impatti EHS delle nanotecnologie sono assegnati a progetti che vedono la partecipazione di almeno un partner italiano.

Si evidenziano inoltre varie iniziative finanziate dalle Regioni: la Lombardia con il progetto "Nanoscienze per materiali e applicazioni biomediche" e la fondazione del "Centro Europeo di Nanomedicina"; il Piemonte con i progetti "NANOSAFE", "Danno citotossico e genotossico indotto da nanoparticelle e micro particelle di silice: basi molecolari e strategie di prevenzione ed inattivazione" e "Materiali nanostrutturati biocompatibili per applicazioni biomediche"; il Veneto che finanzia 6 progetti in collaborazione con il Distretto Veneto Nanotech, avviato nel 2005.

Il Ministero dell'Istruzione Università e Ricerca tra il 2004 e il 2009 ha finanziato 5 progetti per un totale di circa 650.000 Euro, su tematiche inerenti agli impatti dei nanomateriali sulla salute umana, ai meccanismi molecolari alla base della risposta cellulare, all'interazione con sistemi biologici, ai meccanismi di citotossicità e geno-

tossicità e a studi chimico-fisici e di tossicità su modelli in vivo ed in vitro.

Infine il Ministero della Salute ha finanziato per 465.000 Euro il progetto “Nano-OSH Italia” nell’ambito del programma strategico del bando per la ricerca sanitaria del 2006 coordinato dall’ISPESL: il progetto, che si concluderà nel 2011, intende sviluppare una metodologia innovativa per la valutazione del rischio da esposizione lavorativa a nanotubi di carbonio opportunamente prodotti e funzionalizzati, da utilizzare a fini preventivi.

#### **4. Protocolli di acquisizione delle informazioni e metodi di caratterizzazione dell’esposizione a nanomateriali.**

Diversi ambiti professionali sono interessati dalla problematica relativa alle esposizioni a nanomateriali (NM) e nanoparticelle (NP): dai settori di produzione a quelli caratterizzati dalla presenza di cicli di lavorazione o processi durante i quali particelle di dimensioni nanometriche vengono rilasciate in maniera occasionale come sottoprodotto di reazioni termiche e chimiche.

Nell’ambito della produzione “volontaria” i NM destinati alle nanotecnologie vengono realizzati mediante il metodo “ascendente” (bottom-up), che consiste nel costruire i materiali assemblandoli dagli atomi secondo schemi predefiniti (attraverso processi di natura chimica e fisica), e quello “discendente” (top-down), parte integrante dell’industria elettronica per la miniaturizzazione dei materiali e dei componenti, che comporta generalmente processi di tipo meccanico.

Tuttavia, come evidenziato, non sempre le NP negli ambienti di lavoro sono il prodotto finale del ciclo tecnologico, in quanto NP metalliche e/o di ossidi metallici si sviluppano durante particolari processi chimo-fisici quali, ad esempio, combustioni, nucleazioni e condensazioni durante operazioni di rifinitura e lavorazione dei metalli, applicazione di spray ad alta temperatura, operazioni di saldatura, molatura e incisione dei metalli/leghe.

Le caratteristiche delle particelle che si generano da questi processi dipendono dalle condizioni chimico-fisiche in cui questi avvengono, tuttavia le particelle primarie hanno generalmente un diametro compreso fra 10 e 50 nm e coagulano rapidamente, in funzione della maggiore concentrazione nel punto di origine, fino a raggiungere dimensioni superiori a quelle delle NP.

**Potenziati vie di esposizione.** La via di esposizione più comune alle particelle aerodisperse negli ambienti lavorativi è quella inalatoria. Gli agglomerati di NP si depositano in funzione del loro diametro nelle diverse regioni polmonari e, in modo predominante, in quella alveolare, oltre che nelle regioni tracheobronchiale ed extra-toracica. Il destino delle NP, a seguito della deposizione, dipende dalle loro caratteristiche di

biopersistenza e dal potenziale di traslocazione ad altri organi e tessuti, sebbene ad oggi siano in corso ricerche per determinare i fattori che regolano tali fenomeni ed i meccanismi che contribuiscono all'agglomerazione e de-agglomerazione delle NP, nonché il loro ruolo nell'attività tossica dopo l'inalazione. In particolare, le NP si depositano ad alte percentuali lungo tutte le vie aeree, riscontrando, all'aumentare del diametro, una diminuzione della deposizione totale ed un aumento della componente alveolare.

L'interazione tra le NP e i sistemi biologici, invece, può variare in base alle specifiche caratteristiche chimico-fisiche delle NP mentre per le nanofibre la deposizione è altamente dipendente dal tipo di fibra.

In tale contesto un punto fondamentale della tematica da approfondire per l'individuazione di valori limite di esposizione inalatoria di riferimento (ad oggi non ancora definiti in ambito nazionale ed internazionale) riguarda gli aspetti relativi alle differenze o analogie riscontrabili nell'impatto biologico di NP discrete e di agglomerati/aggregati di NP (contenenti lo stesso volume di materiale e che subiscono processi di de-agglomerazione o disaggregazione dopo la deposizione) che si depositano nel sistema respiratorio. Tali valori, infatti, dovranno tenere conto in maniera globale sia di NP discrete che di agglomerati/aggregati di NP nel caso in cui si riscontri una similitudine negli effetti sulla salute derivanti dall'esposizione (in relazione ad una indipendenza dalle caratteristiche dimensionali delle particelle che si depositano). Nel caso contrario dovranno necessariamente essere fissati limiti igienistici differenziati per NP discrete e agglomerati/aggregati di NP.

Per quanto riguarda l'esposizione a NP per contatto cutaneo, sono ad oggi in corso studi sulla eventuale penetrazione delle NP (in particolare TiO e ZnO) attraverso la cute intatta con un conseguente potenziale dannoso.

Il sistema olfattivo ed il tratto gastro-enterico, infine, sono interessati da una percentuale non trascurabile di NP caratterizzate da bassi diametri aerodinamici. Queste, infatti, possono depositarsi nelle alte vie aeree, in particolare nella mucosa olfattiva, essere assorbite nel sistema nervoso centrale attraverso i nervi olfattivi, oppure essere ingerite attraverso deglutizione del muco che incorpora e ripulisce le NP depositate lungo il tratto respiratorio, ingestione di cibi ed acqua contaminati, o contatto orale con mani e superfici contaminate.

*Metodi per la caratterizzazione dell'esposizione inalatoria a NM.* In considerazione delle diverse caratteristiche chimico-fisiche delle NP (dimensioni, morfologia, composizione chimica, area superficiale ecc.) che possono concorrere a provocare potenziali effetti avversi sulla salute, l'aspetto metrologico, nell'ambito della caratterizzazione dell'esposizione inalatoria a NM, presenta una particolare criticità. Allo stato attuale, infatti, le ricerche nel settore sono orientate all'individuazione dei

parametri “corretti” da valutare nella definizione dell’esposizione a NP mediante l’ausilio di tecniche di campionamento e di analisi applicabili nell’ambito di indagini negli ambienti *indoor*. Sebbene, come evidenziato, allo stato attuale non possano essere individuati standard igienistici, le tecniche di misura da applicare nella valutazione dell’esposizione a NP negli ambienti di lavoro vengono indicate da norme di riferimento (quali la ISO/TR 27628, 2007. ISO/TR 12885, 2008) che individuano le modalità più appropriate di misura dell’esposizione inalatoria a NP, aerosol nanostrutturati e a NP ingegnerizzate.

Le tecniche di monitoraggio e di caratterizzazione ad oggi disponibili nel settore, discusse nelle suddette norme, rendono fattibile una valutazione dell’esposizione a particelle di dimensioni nanometriche in termini di massa (associata anche alla sua caratterizzazione chimica), numero, area superficiale, analisi morfologica attraverso il ricorso ad una vasta gamma di strumentazioni. È necessario, comunque, sottolineare, ai fini dell’ottimizzazione del processo globale di valutazione del rischio a NP, l’importanza di una armonizzazione dei diversi sistemi di analisi ad oggi disponibili, per superare le criticità dovute all’impiego di un unico sistema di misura. Ad esempio la determinazione di massa, attraverso l’uso di impattori statici a cascata che consentono il prelievo del materiale suddiviso in intervalli dimensionali, sebbene permetta di effettuare la caratterizzazione chimica delle particelle raccolte sui singoli substrati (attraverso diverse tecniche analitiche *off-line*), richiede l’utilizzo di ulteriori idonee strumentazioni per l’acquisizione dei dati inerenti al numero, alla superficie, nonché per discriminare gli agglomerati/aggregati di NP dalle singole NP.

I campionatori ed i contatori di NP presenti oggi sul mercato devono, tuttavia, essere destinati ad un adattamento in termini di compattezza, portabilità e costi ai fini di applicazioni di routine negli ambienti di lavoro. La valutazione e la caratterizzazione dell’esposizione professionale a nanoaerosol trova, infatti, limitazioni dovute alla mancanza di idonei campionatori di tipo “personale” e, pertanto, l’impiego combinato e contemporaneo di apparecchiature multiple per le misure *in-situ* e per l’analisi *off-line* dei parametri considerati maggiormente significativi, rappresenta al momento lo strumento di elezione nell’ambito della valutazione dell’esposizione professionale a particelle di dimensioni nanometriche. Risulta, quindi, necessario, ricorrere ad un’appropriata strategia di campionamento che tenga conto delle limitazioni interpretative per una stima dell’esposizione personale basata su campionamenti di area. I dati ottenuti dall’impiego di campionatori statici sono, infatti, influenzati dalle variazioni nelle caratteristiche degli aerosol in relazione alla sorgente (distanza, emissioni multi-sorgente, ecc.), nonché ai movimenti dell’aria dovuti alla ventilazione forzata ed al verificarsi di processi di nucleazione di specie chimiche in fase gassosa o di accrescimento per coagulazione o per condensazione, che portano a variazioni spazio-

temporali della massa, del numero e della distribuzione dimensionale dei nanoaerosol. I risultati dei campionamenti di NP realizzati attraverso l'utilizzo di tali dispositivi devono essere, pertanto, sottoposti ad una specifica valutazione se tradotti in termini di "esposizione personale" del lavoratore e, conseguentemente, alcuni aspetti fondamentali dovranno essere considerati nell'ambito della predisposizione di una corretta strategia di monitoraggio. Previo esame dettagliato dello scenario di esposizione (valutazione di ulteriori attività lavorative ad esempio comportanti l'utilizzo di attrezzi da lavoro, presenza di fumo, rilevazione di sorgenti secondarie, ecc.), anche in relazione agli andamenti relativi ai flussi di aria (ad esempio a causa della presenza di ventilazioni forzate) determinanti nelle variazioni spazio-temporali degli aerosol, dovranno essere appropriatamente selezionate le postazioni di campionamento ai fini di una interpretazione affidabile dei dati in relazione all'esposizione personale. In particolare, poiché gli aerosol di NP sono miscele complesse di diversa origine, deve essere prevista una ottimizzazione dei metodi di campionamento e di analisi al fine di una corretta attribuzione delle varie possibili sorgenti emmissive involontarie (ad esempio ricorrendo all'utilizzo dei profili di sorgente della *Principal Component Analysis*) anche in considerazione di eventuali contributi provenienti dall'ambiente esterno. Nell'ambito della procedura di valutazione dell'esposizione professionale a NP risulta, quindi, fondamentale, in attesa dell'individuazione del sistema metrologico più appropriato per la valutazione dell'esposizione alle NP e di valori limite di esposizione professionale per NP, mettere a punto appropriate strategie di campionamento e protocolli di misura finalizzati alla determinazione della composizione chimica (anche per la caratterizzazione delle impurezze dovute a composti organici eventualmente presenti nei NM ingegnerizzati a causa delle procedure di produzione) e della distribuzione dimensionale di particelle di dimensione nanometrica mediante un approccio multiparametrico.

## 5. Effetti sulla salute dei nanomateriali ingegnerizzati

Studi epidemiologici ed informazioni riguardanti gli effetti tossici dei nanomateriali (NM) su popolazioni esposte non sono ancora disponibili. La quasi totalità degli studi, infatti, è stata effettuata o su sistemi in vitro o su animali da laboratorio (principalmente topi) e le informazioni relative agli effetti su organi e apparati sono a volte estrapolate dai risultati ottenuti a livello cellulare. Gli studi prodotti negli ultimi anni hanno evidenziato potenziali effetti genotossico-ossidativi e citotossici a livello cellulare ed effetti respiratori, cutanei, neurotossici, cardiovascolari, immunologici, causati da NM.

**Effetti genotossico-ossidativi.** La maggior parte degli studi sulla genotossicità dei NM riguarda nanotubi di carbonio (CNT) e particelle di ossidi metallici che possono pro-

vocare danno al DNA sia direttamente sia indirettamente, tramite l'induzione di stress ossidativo. A seconda delle dimensioni e dello stato di aggregazione, i NM possono entrare nella cellula attraverso diffusione passiva ed endocitosi, quindi possono penetrare nel nucleo mediante diffusione attraverso la membrana nucleare, trasporto attraverso i complessi dei pori nucleari o in seguito al dissolvimento della membrana nucleare durante la divisione cellulare. Una volta nel nucleo, possono interagire con il DNA o con le proteine istoniche, causando danno al materiale genetico. Il danno genotossico può essere anche indotto indirettamente attraverso l'interazione con altre proteine cellulari, come quelle implicate nei processi di divisione cellulare, attraverso la generazione di radicali liberi dell'ossigeno, di fenomeni infiammatori, oppure per alterazione della funzione di proteine implicate nella risposta riparativa al danno al DNA.

**Effetti citotossici.** Gli studi attualmente disponibili sugli effetti citotossici dei NM sono numerosi e mostrano un'ampia variabilità tra le diverse nanoparticelle (NP) circa l'abilità di causare effetti tossici. Effetti citotossici ed apoptotici sono stati mostrati per i CNT, ma molto sembra dipendere dallo stato di aggregazione, dalla presenza di metalli catalizzatori, dalla presenza di gruppi di funzionalizzazione, dal grado di purezza, dalla lunghezza e dal diametro. I fullereni sembrano essere meno citotossici anche se la risposta dipende dal tipo cellulare. Per le NP metalliche c'è un'ampia variabilità nella risposta dipendente dal tipo di metallo: effetti sono stati osservati per NM a base di argento, rame, zinco, molibdeno, alluminio. Mentre per i *quantum dot* gli effetti osservati sono da mettere in relazione con le dimensioni e con il tipo di rivestimento presente.

**Effetti respiratori.** Studi *in vitro* e *in vivo* hanno riportato che il polmone rappresenta il principale organo bersaglio degli effetti tossici dei NM. La maggior parte degli studi sugli effetti sul sistema respiratorio riguarda i CNT, i cui effetti negativi sembrano essere in relazione con la tossicità su differenti popolazioni cellulari, la capacità di determinare fibrosi, l'attività asbesto-simile, il bioaccumulo e i livelli potenzialmente bassi di biodegradazione di tali NM. In particolare sono state osservate alcune somiglianze tra le proprietà patogenetiche dei CNT a parete multipla e quelle delle fibre di asbesto riconducibili a risposte infiammatorie e stress ossidativo.

Nel complesso gli studi *in vitro* suggeriscono che i NM ingegnerizzati siano in grado di esercitare sui sistemi biologici analizzati, prevalentemente cellule bronchiali, polmonari e macrofagi alveolari, effetti citotossici non trascurabili. Gli studi *in vivo* evidenziano come l'esposizione a NM provochi la comparsa di un'importante risposta infiammatoria polmonare acuta, la formazione di lesioni granulomatose ed enfisematose, la deposizione di collagene con conseguente fibrosi interstiziale e l'induzione di un significativo stress ossidativo. Tuttavia, i differenti tipi di NM mostrano gradi di tossicità piuttosto variabili, rendendo impossibile generalizzazioni. Ulteriori studi sono



pertanto necessari per definire la reale tossicità di questi NM a livello del sistema respiratorio.

**Effetti cutanei.** Per quanto riguarda gli effetti a livello cutaneo, vi sono evidenze in letteratura che le NP possano svolgere un'azione irritativa locale sui cheratinociti e che possano parzialmente penetrare lo strato corneo della cute e l'epidermide, entrando nel circolo sistemico: i dati disponibili sono comunque ancora troppo pochi per poterne trarre conclusioni definitive. Attualmente le informazioni maggiori provengono dall'industria farmaceutica, che ha studiato l'effetto delle NP di ossido di zinco (ZnO) e di biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>) utilizzate per la formulazione di creme protettive. Dati significativi sull'uomo non sono ancora disponibili anche se dal 1997 numerose formulazioni cosmetiche contengono NP, specie quelle con azione di schermo solare. Sono necessarie pertanto ulteriori ricerche sistematiche, per meglio definire il rischio cutaneo dell'esposizione a NP.

**Effetti sul Sistema Nervoso Centrale.** Diversi studi, sia *in vitro* sia *in vivo*, hanno osservato la capacità da parte delle NP di provocare effetti neurotossici. In particolare sono stati evidenziati significativi effetti neurotossici in cellule neuronali e gliali di derivazione animale ed umana ed in diversi modelli animali esposti a NP. Il principale meccanismo mediante il quale i NM esibiscono la loro tossicità, anche a livello del Sistema Nervoso Centrale (SNC), è rappresentato dall'induzione di un importante stress ossidativo. Inoltre, le NP sarebbero in grado di alterare la normale integrità della barriera emato-encefalica (BEE) e modulerebbero l'espressione di molteplici geni coinvolti nella risposta infiammatoria e nell'apoptosi.

Sono auspicabili ulteriori studi che verifichino gli eventuali effetti neurotossici provocati dagli altri NM ingegnerizzati, oltre a quelli metallici finora principalmente indagati, quali NP di carbonio e *quantum dot*.

**Effetti cardiovascolari.** Relativamente all'apparato cardiovascolare, l'esposizione di topi e ratti a CNT ha evidenziato sviluppo di ateromi, trombosi arteriosa e aggregazione piastrinica. Altri studi hanno valutato i possibili effetti dei CNT sull'infiammazione sistemica, che è ormai considerata uno dei fattori principali predisponenti all'aterosclerosi, evidenziando una significativa attivazione dei parametri di infiammazione sistemica e dei biomarcatori di attivazione dei neutrofili.

Appare mandatorio, prima di giungere ad una qualsiasi conclusione sui possibili effetti cardiovascolari delle NP ingegnerizzate, che vengano condotti ulteriori studi in grado di rispecchiare nel modo più fedele le condizioni espositive attese nell'attività lavorativa e nell'ambiente in genere.

**Effetti immunologici.** Pochi dati, prevalentemente derivati da studi *in vitro*, sono attualmente disponibili in letteratura, relativi ad effetti sul sistema immunitario. Tali dati suggeriscono la possibilità che le NP, una volta raggiunta la circolazione sistemica,

interagiscano con le proteine circolanti o presenti sulla superficie delle cellule determinando l'esposizione di residui amminoacidici normalmente non esposti (epitopi criptici) con la possibilità di una risposta autoimmunitaria. Altro possibile meccanismo di danno è costituito dall'interferenza con i processi di opsonizzazione e quindi con la *clearance* di materiale estraneo (es. microorganismi) normalmente eliminato in virtù di tale processo. I dati disponibili sono da considerarsi del tutto insufficienti per esprimere un giudizio di tossicità delle NP ingegnerizzate sul sistema immunitario, anche alla luce delle dosi elevate utilizzate.

Nel complesso, dagli studi disponibili emerge un'ampia variabilità negli effetti citotossici e genotossici osservati che dipende dalle specifiche caratteristiche dei NM utilizzati di cui è necessario tener conto.

Inoltre dato che nei diversi studi vengono solitamente utilizzate elevate quantità di NM, è auspicabile che vengano eseguiti ulteriori studi che utilizzino i NM più diffusi, e quindi più rilevanti dal punto di vista delle possibili esposizioni, a concentrazioni inferiori.

Infine, dagli studi *in vivo* a livello di organo ed apparato il sistema respiratorio, nervoso e cardiovascolare sembrano essere i più coinvolti anche se i dati disponibili sono ancora insufficienti per potere dare risposte chiare sugli effetti dei NM ingegnerizzati per la salute dell'uomo.

## 6. Valutazione e Gestione del Rischio

I nanomateriali (NM) possono comportare nuovi rischi di esposizione ad un numero sempre crescente di lavoratori, visto il loro sempre più diffuso impiego industriale. In quest'ottica i NM sono stati inseriti nella strategia comunitaria sulla salute e sicurezza sul lavoro come argomento su cui lavorare nel contesto dell'identificazione dei rischi nuovi ed emergenti. Inoltre la Commissione Europea ha sviluppato un piano di azione per implementare un approccio sicuro, integrato e responsabile alle nanotecnologie. Ciò porta ad una maggiore necessità di informazioni al fine di un'efficace gestione del rischio di esposizione. Al fine di poter raggiungere quest'obiettivo, sono necessarie conoscenze sul possibile approccio da seguire nella valutazione del rischio di esposizione a NM e sulle possibili misure di prevenzione e protezione da adottare per il corretto trattamento e riduzione del rischio.

Anche per i NM è possibile seguire un approccio alla valutazione del rischio che riprenda quello già in uso per le sostanze che espongono i lavoratori al rischio chimico. In particolare la "Valutazione del rischio", anche nel caso specifico, va intesa come l'insieme di tutte quelle operazioni, conoscitive ed operative, che devono essere at-

tuate per addivenire ad una stima del rischio di esposizione ai NM per la sicurezza e la salute dei lavoratori, in relazione allo svolgimento delle lavorazioni.

La valutazione del rischio è un'operazione complessa ed iterativa che necessariamente richiede, per ogni ambiente o posto di lavoro considerato, l'identificazione delle sorgenti di rischio di esposizione a NM presenti nel ciclo lavorativo, l'individuazione dei conseguenti potenziali rischi di esposizione a NM in relazione allo svolgimento delle lavorazioni e la stima dell'entità dei rischi di esposizione a NM connessi con le situazioni di interesse prevenzionistico individuate.

In virtù del principio di precauzione è necessario ridurre al minimo l'esposizione e ciò è possibile sia riducendo la durata di esposizione e/o il numero delle persone esposte, sia la concentrazione dei NM stessi, attraverso la messa in atto di idonee misure di prevenzione e protezione. Queste dovrebbero seguire la scala di priorità che va dall'eliminazione dei NM, alla loro sostituzione con materiali non pericolosi, all'isolamento/confinamento o segregazione della fonte di esposizione, alle misure tecniche per captare, limitare ed espellere i NM, alle modifiche dell'organizzazione del lavoro e all'utilizzo di DPI come integrazione alle misure tecniche.

Infine l'implementazione di una serie di buone pratiche (ad esempio utilizzando l'approccio del *control banding* in un programma di gestione del rischio può contribuire a minimizzare l'esposizione dei lavoratori ai NM.

## 7. Prospettive di policy e strategie di comunicazione

La regolamentazione della produzione e dell'utilizzo delle nanotecnologie, e in particolare i cosiddetti nanomateriali (NM) ingegnerizzati, è resa necessaria dall'esigenza sia di ridurre i rischi per la salute, la sicurezza e l'ambiente (EHS) che di gestire le implicazioni etiche, legali e sociali (ELSI) che ne derivano.

Allo stato attuale, tuttavia, la definizione di un sistema di regolamentazione soddisfacente è resa complicata dalle incertezze legate alla caratterizzazione dei NM e del loro impatto per ciò che riguarda EHS e questo complica la definizione di procedure di valutazione del rischio e dei livelli di esposizione associati al loro utilizzo.

Alcune questioni chiave sono ancora oggetto di un intenso dibattito sia a livello istituzionale che tra i diversi portatori di interesse a causa:

- della varietà di materiali e applicazioni;
- del comportamento e delle caratteristiche uniche dei NM (alla nanoscala);
- della mancanza di normative tecniche condivise per la nomenclatura e la metrologia dei materiali;
- della natura proprietaria delle informazioni;
- della necessità di comunicazione e di confronto tra discipline diverse.

La regolamentazione di questo settore dipende , quindi, sostanzialmente e prioritariamente dallo sviluppo delle conoscenze.

Altra questione ancora aperta è, inoltre, quella degli strumenti normativi attraverso i quali dare attuazione a tale regolamentazione. Le possibili strade sono:

- **la via legislativa** (*“hard regulation”*) che comporta la definizione di un sistema di norme cogenti e del relativo apparato sanzionatorio che ne garantisca il rispetto. La percorribilità di questa strada è complicata dalla suddetta incertezza delle conoscenze e quindi dalla difficoltà di trovare il necessario consenso per la definizione (e la ratifica in norme cogenti) dei punti di equilibrio attraverso cui contemperare le varie esigenze di tutela con l’esigenza di non pregiudicare irragionevolmente le attività di ricerca e sviluppo (e l’ottenimento dei potenziali benefici connessi). Dall’analisi svolta si evidenzia che in generale, al momento la strada seguita per regolamentare la materia a livello legislativo è quella dell’adeguamento e/o dell’integrazione (attraverso specifiche tecniche, linee guida, ecc.) del quadro normativo esistente che disciplina la produzione, l’uso e la commercializzazione delle sostanze chimiche e/o di altre normative di settore come, per esempio, quelle relative alla salute e alla sicurezza dei lavoratori e alla sicurezza ambientale.

Inoltre, ai fini della disciplina delle attività correlate all’impiego dei NM, risultano di particolare importanza questioni ancora oggetto di dibattito come, tra le altre, l’applicabilità del principio di precauzione e l’individuazione di chi sia soggetto all’onere di provare la non pericolosità dei prodotti (produttore o autorità pubblica).

- **la via delle sviluppo di misure volontarie** (*“self regulation”*) la cui efficacia è basata sul riconoscimento da parte dei diversi portatori di interesse della loro validità e, soprattutto, della loro capacità di trovare punti di convergenza tra i diversi interessi in gioco. Tuttavia, soprattutto quando sono promosse a livello istituzionale la loro efficacia, a causa appunto del loro carattere volontario, rischia di essere spesso inficiata da un’adesione spontanea limitata. In relazione alle misure volontarie l’analisi condotta ha permesso di distinguere tre livelli di intervento:
  - Sistemi di Monitoraggio, che hanno l’obiettivo di accrescere le conoscenze dei soggetti impegnati, a diverso titolo, nelle attività di regolamentazione circa l’entità e la diffusione dell’uso dei NM e le tipologie e modalità di produzione.
  - Codici di Condotta che hanno l’obiettivo di definire valori, principi e linee guida che possano favorire uno sviluppo sicuro e responsabile delle nanotecnologie.
  - Sistemi di Gestione del Rischio, generalmente sviluppati a livello industriale, che hanno l’obiettivo di accrescere il livello di sicurezza nella gestione, manipolazione e utilizzo dei NM ingegnerizzati.

- **la via dello sviluppo di normative tecniche** (“Standards”) attualmente intese, principalmente, a definire, descrivere, specificare, misurare e caratterizzare i NM e i nanoprodotto e che, quindi, si configurano prevalentemente come funzionali allo sviluppo dei livelli di regolamentazione cogenti o volontari. Tuttavia possono talvolta essere sviluppati standard prestazionali e procedure di gestione del rischio idonei ad essere impiegati come strumento di regolamentazione di specifiche attività a cui gli operatori di settore possono fare volontariamente riferimento per attestare verso l’esterno la correttezza del loro operato. L’efficacia degli standard, qualora non integrati in livelli di regolamentazione cogente, è prevalentemente basata sull’autorevolezza delle organizzazioni che li emanano e sull’ampio riconoscimento da parte dei diversi portatori di interesse della loro validità scientifica. Dall’analisi condotta risultano numerose iniziative portate avanti sia in ambito nazionale che internazionale per arrivare alla definizione di standard relativi al settore delle nanotecnologie.

La comunicazione rappresenta un passaggio chiave nella gestione del rischio relativo al trattamento e all’uso dei NM in ambito lavorativo. Una comunicazione appropriata costituisce, infatti, un aspetto basilare sia per assicurare l’effettiva adozione da parte dei lavoratori di comportamenti corretti sotto il profilo della prevenzione, sia per scongiurare il crearsi di dinamiche allarmistiche infondate dal punto di vista scientifico, sia per sollecitare comportamenti proattivi da parte dei datori di lavoro. La comunicazione rappresenta un aspetto chiave sia per dare forza alle norme esistenti sia per sopperire alle lacune di tale regolamentazione, stimolando l’adozione volontaria di comportamenti corretti da parte dei lavoratori o l’adozione di codici di autoregolamentazione da parte dei datori.

Un comunicazione appropriata dovrebbe essere:

- **credibile** cioè provenire da fonti riconosciute come autorevoli ed affidabili da parte dei destinatari. Nello specifico ambito di un settore come quello delle nanotecnologie, caratterizzato da uno stato delle conoscenze, per certi versi, ancora insufficiente, ciò significa dover fare soprattutto i conti con il rischio della contraddittorietà delle fonti.
- **corretta** cioè veicolare un messaggio completo (non caratterizzato cioè da omissioni tese a perseguire un effetto persuasivo) ed effettivamente suffragato da riscontri scientifici ed obiettivo. Anche sotto questo profilo la comunicazione relativa al settore delle nanotecnologie propone alcune problematiche peculiari vista la mancanza, in alcuni casi, di dati certi sugli impatti e le incertezze nella stima del rischio. Si noti che veicolare messaggi non corretti può comportare il rischio di compromettere irrimediabilmente la credibilità della fonte.

- **chiara** cioè facilmente e pienamente comprensibile da parte dei destinatari. Nel caso delle nanotecnologie ciò significa riuscire a superare le difficoltà create dalla necessità di misurarsi con l'esigenza di trasferire conoscenze basate su nozioni complesse e di evitare l'uso di una terminologia tecnica non immediatamente comprensibile dai non addetti ai lavori. Si noti che un'eccessiva semplificazione del messaggio può, a volte, comportare il rischio di pregiudicarne la correttezza.

Inoltre, nello sviluppare una strategia di una comunicazione efficace, occorre tener conto sia delle caratteristiche dei canali di informazione utilizzati, sia dei destinatari del messaggio. Anche se non vi sono precise regole per la scelta degli strumenti più idonei con cui conseguire gli obiettivi, sembra, comunque, utile tenere presenti le caratteristiche rilevanti dei soggetti coinvolti o dei gruppi, al fine di raggiungere tutti in modo efficace. Occorre quindi acquisire una conoscenza approfondita dei potenziali destinatari del messaggio (la loro percezione e comprensione delle questioni trattate, le loro attese, il loro stato delle conoscenze, ecc.), ai quali, utilizzando i canali di informazione più idonei, fornire fonti informative accurate e facilmente accessibili.

Tuttavia tra le varie strategie di comunicazione possibili, la comunicazione bidirezionale, basata sul coinvolgimento attivo dei destinatari e l'interazione diretta con i soggetti portatori delle molteplici conoscenze (e punti di vista) necessarie a restituire una visione complessiva delle problematiche trattate, sembra essere la più idonea per affrontare un tema come quello del rischio legato allo sviluppo e all'uso delle nanotecnologie sul quale potrebbe non essere difficile incontrare atteggiamenti di scetticismo, diffidenza e disinteresse.

Infine un ultimo aspetto da tenere in considerazione sono le modalità attraverso cui viene presentato il messaggio, che incidono sulla recettività del pubblico nei confronti dei temi trattati. In questo caso potrebbe essere opportuno focalizzarsi sulle tecniche di *message framing* proprie della comunicazione persuasiva e contestualizzare il messaggio adattandolo al reale impiego delle nanotecnologie e non a situazioni di laboratorio estremamente specialistiche.

# Introduzione

Nel campo delle nanotecnologie il gap tra il progresso tecnologico e la ricerca in ambito di Salute e Sicurezza del Lavoro è ancora molto ampio. Gli studi relativi agli effetti sulla salute e all'analisi del rischio da esposizione a nanomateriali (NM) sono limitati e non esistono metodologie validate per la valutazione del rischio in ambiente di lavoro. Pertanto, a fronte dello squilibrio tra le scarse conoscenze sui rischi per la salute connessi con l'utilizzo dei NM e la diffusione esponenziale che le nanotecnologie avranno nei prossimi anni, è necessario sviluppare la ricerca nel settore con particolare attenzione alla analisi del rischio per i lavoratori esposti ed evidenziare le criticità e i bisogni delle politiche di salute e sicurezza dei lavoratori, correlati con lo sviluppo delle nanotecnologie, nell'ottica di indirizzare gli sforzi verso un approccio responsabile e sostenibile al loro utilizzo.

L'Istituto Superiore per la Prevenzione E la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) ha istituito nel 2008 il "Network nazionale per l'individuazione di misure di prevenzione protezione connesse con l'esposizione a nanomateriali in ambito lavorativo" (NanoOSH Italia) che si pone i seguenti obiettivi principali:

- potenziare e consolidare a livello nazionale la collaborazione nell'attività di ricerca sui rischi da esposizione lavorativa a NM, effettuando una ricognizione dei bisogni, delle priorità e delle possibilità di finanziamento;
- sviluppare un approccio multidisciplinare alla valutazione del rischio promuovendo attività di ricerca integrate;
- individuare strumenti idonei per lo sviluppo della comunicazione ed il trasferimento delle conoscenze nel settore.

Il Network è composto da ricercatori che a diverso titolo operano nel settore della salute e sicurezza dei NM in ambiente di lavoro all'interno dell'ISPESL e dai rappresentanti degli Enti e delle Università che hanno mostrato maggiore sensibilità alla problematica a livello nazionale.

Il "Libro Bianco sull'esposizione a nanomateriali ingegnerizzati e gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori" costituisce il primo risultato di questo gruppo di lavoro; tale risultato rappresenta il tentativo di definire lo stato dell'arte in Italia sul tema e può costituire il punto di partenza per la discussione sugli impatti di salute e sicurezza del lavoro e sulle prospettive di regolamentazione, cercando il coinvolgimento delle Istituzioni e delle parti sociali.

Il lavoro è stato svolto in due fasi successive. Nella prima è stato definito il piano dell'opera, sono stati individuati gli argomenti chiave della trattazione e i sottogruppi di esperti per ciascun argomento; quindi al termine del processo di revisione editoriale è stato pubblicato il libro bianco. Nella seconda fase è iniziato un processo di

identificazione di stakeholder nazionali attivi nel settore della salute e sicurezza del lavoro e interessati all'impatto delle nanotecnologie in questo settore, seppur con approccio differente alla materia trattata. La realizzazione di tale processo di consultazione permette di acquisire il contributo e i differenti punti di vista di quella parte del mondo istituzionale, delle imprese, della ricerca e dell'economia, che in Italia ha, a diverso titolo, un ruolo nello sviluppo responsabile e sostenibile delle nanotecnologie. Attraverso questo percorso il Libro Bianco, tramite l'acquisizione anche delle conoscenze e dei differenti punti di vista di cui è portatore, intende proporre una ricognizione sulle prospettive e sulle problematiche relative allo sviluppo delle nanotecnologie e ai rischi in ambiente di lavoro, a livello nazionale.