

Ivo Iavicoli<sup>1</sup>, Veruscka Leso<sup>1</sup>, Luca Fontana<sup>2</sup>

## Esposizione a nanoparticelle nei laboratori di ricerca

<sup>1</sup> Dipartimento di Sanità Pubblica - Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Sergio Pansini 5, 80131 Napoli

<sup>2</sup> Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, via Fontana Candida 1, 00078 Monte Porzio Catone (Rm)

**RIASSUNTO.** *Obiettivi.* Un crescente numero di lavoratori è impiegato in laboratori di ricerca dove i nanomateriali (NM) sono sintetizzati, caratterizzati, lavorati e studiati per le loro proprietà fisico-chimiche e tossicologiche. Per una adeguata valutazione dei rischi in tali contesti occupazionali, la valutazione dell'esposizione appare un elemento imprescindibile.

*Metodi.* Una revisione critica della letteratura scientifica e di quella grigia sull'esposizione a NM nei laboratori è stata effettuata.

*Risultati.* La valutazione dell'esposizione prevede, in genere, un'analisi preliminare dei processi lavorativi e della tipologia di NM impiegati. I monitoraggi ambientali e personali possono essere utilizzati per una valutazione quantitativa dell'esposizione, sebbene le attuali incertezze relative ai parametri metrologici da misurare e ai valori limite con cui confrontare i dati raccolti rendano complessa l'interpretazione dei risultati e la definizione di strategie condivise di valutazione.

*Conclusioni.* Al momento attuale, informazioni qualitative sull'esposizione a NM, possono essere impiegate in strumenti di "control banding" per la valutazione e gestione cautelativa dei rischi nei laboratori di ricerca. Studi futuri di valutazione dell'esposizione ambientale e personale a NM sono necessari per definire appropriate strategie di monitoraggio e guidare l'adozione di appropriate misure di prevenzione a protezione per la tutela della salute dei lavoratori.

**Parole chiave:** nanomateriali, laboratori di ricerca, valutazione dell'esposizione, valutazione del rischio, gestione del rischio.

**ABSTRACT.** *NANOPARTICLE EXPOSURE IN RESEARCH LABORATORIES.* Aims. A growing number of workers are employed in research laboratories where nanomaterials (NMs) are synthesized, characterized, processed and investigated for their physico-chemical and toxicological properties. To adequately evaluate occupational risks in such contexts, a suitable exposure assessment is necessary.

*Methods.* A critical review of the scientific and grey literature on NM exposure in laboratories has been performed.

*Results.* The evaluation of the exposure, in general, includes a preliminary analysis of the working processes and of the features of NMs employed. Environmental and personal monitoring can be used for a quantitative assessment of the exposure, although the current uncertainties relating to the metrological parameters to be measured and the occupational exposure limits to be compared with collected data make the interpretation of the results and the definition of shared sampling strategies a challenging issue.

### Introduzione

Negli ultimi decenni, la diffusione delle nanotecnologie, ha permesso di sviluppare processi produttivi, di lavorazione e di controllo della materia in dimensioni nanometriche, comprese cioè tra 1 e 100 nm (1). In relazione alla loro ridotta dimensione e all'elevato rapporto tra area di superficie e volume, i nanomateriali (NM) possiedono proprietà fisico-chimiche distinte rispetto a quelle di materiali della stessa composizione chimica, ma di dimensioni maggiori, che ne hanno permesso l'ampio utilizzo in diversi settori industriali e commerciali. Tra questi il settore chimico, elettronico, edile, automobilistico, tessile, medico, alimentare e dell'imballaggio, nonché della produzione e conservazione dell'energia (2).

Tale diffuso impiego ha determinato un aumento dell'esposizione a NM della popolazione generale, ma soprattutto dei lavoratori coinvolti, in numero sempre crescente, in tutte le fasi di lavorazione: dalla produzione, all'applicazione in prodotti commerciali, allo smaltimento e al riciclo degli stessi. A tal riguardo, attenzione particolare merita il personale impiegato nei laboratori di ricerca, sia a livello accademico che industriale. Per tali lavoratori, le operazioni di sintesi ed analisi di caratterizzazione qualitativa dei NM, nonché tutte le attività sperimentali finalizzate a valutarne il profilo tossicologico possono rappresentare occasioni di esposizione, in condizioni ordinarie di lavoro e in caso di eventi accidentali (Figura 1). Potenziali condizioni di esposizione sono inoltre le operazioni di stoccaggio, imballaggio e trasporto dei NM, nonché le fasi di pulizia e manutenzione degli strumenti, delle attrezzature di laboratorio e delle postazioni di lavoro, come pure la gestione dei rifiuti e materiali di scarto delle lavorazioni (3).

Tuttavia, preoccupazione nella comunità scientifica è emersa in merito alla crescente esposizione a NM nelle attività di laboratorio e all'ancora preliminare comprensione della loro tossicità. Infatti, le stesse proprietà fisico-chimiche che ne hanno permesso la vasta applicazione tecnologica, possono essere responsabili di una reattività biologica peculiare di tali NM e quindi di possibili effetti avversi degli stessi sulla salute dei soggetti esposti. Appare pertanto evidente la necessità di identificare delle strategie adeguate di valutazione dei rischi in tali realtà lavorative

**Conclusions.** *To date, qualitative information on NM exposure can be used in “control banding” instruments useful for the precautionary assessment and management of risks in research laboratories involved with NMs. Future NM environmental and personal exposure assessments should be pursued to define appropriate monitoring strategies and guide the adoption of appropriate preventive measures to protect the health of workers.*

**Key words:** *nanomaterials, research laboratories, exposure assessment, risk assessment, risk management.*

che possano orientare l'adozione di appropriate misure di prevenzione e protezione dei lavoratori. In tale contesto, l'approccio tossicologico alla valutazione del rischio chimico, di cui la valutazione dell'esposizione appare un passaggio imprescindibile, può essere considerato applicabile all'esposizione a NM, pur tenendo conto delle peculiari caratteristiche e delle difficoltà di valutazione relative ai materiali in nanoscala (4,5).

Pertanto, scopo del presente lavoro è stato quello di identificare elementi quali-quantitativi essenziali per la definizione dell'esposizione a NM nei laboratori di ricerca ed eventuali criticità che necessiteranno di approfondimenti futuri nell'ottica di ottenere una adeguata valutazione e gestione dei rischi in tali contesti di lavoro.

## Materiali e metodi

Al fine di identificare gli studi che hanno analizzato l'esposizione occupazionale a NM nei laboratori, è stata

effettuata una revisione critica della letteratura scientifica mediante i seguenti motori di ricerca: Pubmed, Scopus e ISI Web of Science. Parole chiave impiegate per tale ricerca bibliografica sono state pertanto “occupat\*” or “workplace” per definire l'interesse al contesto occupazionale, combinate con “laboratory” or “research lab\*”, per identificare lo specifico settore lavorativo oggetto di investigazione e “nanomaterial exposure” or “nanoparticle exposure”, utilizzate per identificare l'ambito dello studio. Sono stati inclusi nella revisione sia lavori sperimentali che di revisione scientifica che avessero investigato aspetti di valutazione qualitativa e quantitativa dell'esposizione a NM nel settore laboratoristico. Al fine di avere un quadro il più esaustivo possibile sull'argomento, sono stati ricercati e valutati per la possibile inclusione anche documenti della letteratura grigia, quali linee di indirizzo prodotte da Istituti di Ricerca Internazionali, specificatamente focalizzati sull'analisi dell'esposizione a NM nell'ambito della valutazione e gestione dei rischi in tale contesto occupazionale.

## Risultati

Una adeguata valutazione dell'esposizione presuppone un'analisi preliminare dei processi lavorativi e delle caratteristiche quali-quantitative dei NM sintetizzati o lavorati che possono favorire l'esposizione dei lavoratori (6). Tra questi, attenzione deve essere posta alle diverse metodiche di sintesi, ad es. tecniche “top-down” o “bottom-up”, nonché alle operazioni per il recupero dei NM dai reattori, alla miscelazione, pesatura, manipolazione di NM sfusi, fino

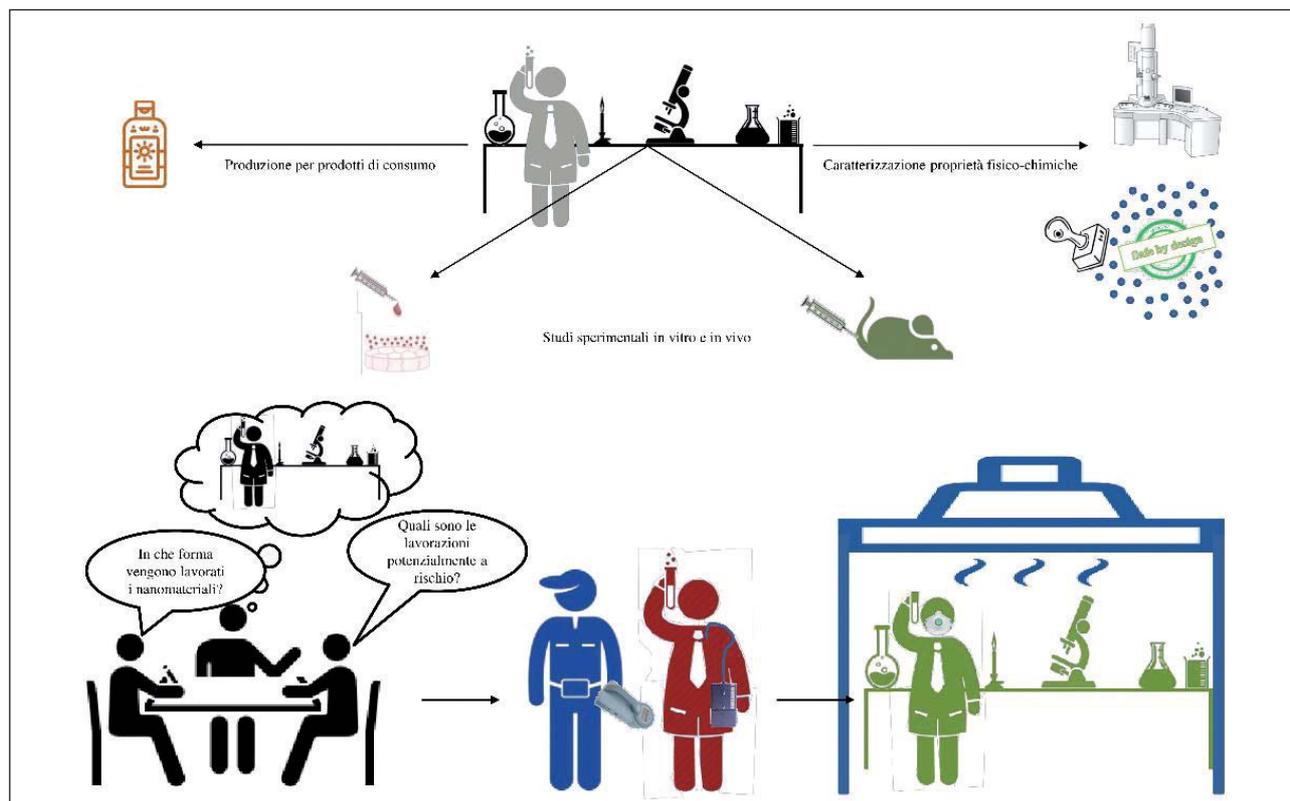


Figura 1

all'imballaggio dei prodotti in nanoscala. Tutti i processi ad alta energia su materiali in soluzione liquida, tra cui la miscelazione ad alta velocità e la sonicazione, come pure le operazioni di fresatura, macinatura, abrasione meccanica, e levigatura di matrici polimeriche solide contenenti NM devono essere valutate come possibili fonti di dispersione dei NM nell'ambiente di lavoro e di possibile esposizione, inalatoria e cutanea, per gli operatori (7). In tale contesto è importante valutare la forma fisica in cui sono prodotti/manipolati i NM: polvere, soluzione liquida, o matrice solida; come pure la quantità di NM prodotti, manipolati o stoccati nei laboratori (Figura 1). Inoltre, i livelli di esposizione possono variare anche in relazione alla durata e alla frequenza delle operazioni svolte nella mansione lavorativa. Un altro aspetto da valutare con attenzione sono le fasi di produzione/lavorazione responsabili della dispersione ambientale dei NM, che possono assumere caratteristiche fisico-chimico differenti per effetto dei trattamenti e delle interazioni ambientali cui sono sottoposti e quindi una variabile reattività biologica. I dispositivi di protezione collettiva, ad es. cappe a flusso laminare, sistemi di ventilazione/aspirazione, ed individuali adottati per il controllo dell'esposizione nei laboratori sono, allo stesso modo, oggetto di valutazione in tale fase (3).

L'analisi preliminare dei possibili scenari espositivi assume un ruolo di rilievo nell'evidenziare le aree o attività lavorative che possono necessitare di una valutazione approfondita dei livelli di esposizione mediante monitoraggio ambientale (Figura 1). Al momento, strategie di campionamento e misurazione delle concentrazioni di NM nell'ambiente lavorativo non sono ancora state standardizzate a livello internazionale. Ciò è correlato alla difficoltà di identificare quali parametri metrologici misurare per la valutazione dell'esposizione, dal momento che a livello nanometrico, non la massa delle particelle, ma piuttosto la loro area di superficie, come pure la loro concentrazione numerica, potrebbero fornire indicazioni più appropriate sulla loro potenziale tossicità. Tuttavia, una possibile strategia di monitoraggio ambientale, estrapolabile anche a laboratori di ricerca, è quella proposta dall'Ente Statunitense National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), la Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) giunta alla seconda versione e per questo definita 2.0 (8,9). Tale procedura prevede una fase preliminare di identificazione di tutte le possibili sorgenti di esposizione, come precedentemente descritto. Successivamente, il protocollo NEAT 2.0 include la valutazione della concentrazione numerica ambientale dei NM aerodispersi durante le attività lavorative mediante un contatore ottico ed uno a condensazione, ed il confronto con il livello di fondo nell'ambiente di lavoro. Nel caso di una differenza positiva, indicativa di una possibile dispersione di NM nell'ambiente, è previsto un campionamento gravimetrico su filtro su cui sarà possibile effettuare la caratterizzazione dei NM mediante microscopia elettronica a trasmissione o scansione. Dati preliminari relativi al monitoraggio ambientale di NM nei laboratori di ricerca hanno evidenziato un aumento significativo della concentrazione particellare durante alcune specifiche operazioni tra cui la centrifugazione di soluzioni liquide contenenti NM, la pe-

satura e la liofilizzazione per ottenere nano-polveri, in particolare in prossimità delle strumentazioni di lavoro (6). Tali indagini sono risultate altresì importanti per la valutazione dell'efficacia delle misure di controllo ambientale dell'esposizione, in quanto hanno permesso di evidenziare come i livelli di particelle fossero sufficientemente controllati dall'utilizzo delle cappe di aspirazione o dai sistemi a ciclo chiuso. Tuttavia, alcune limitazioni relative al monitoraggio ambientale meritano attenzione per una corretta interpretazione dei risultati. Tra queste, la difficoltà di identificare la sorgente di emissione occupazionale di particelle ultrafini e di differenziarle da quelle di fondo e la possibile sottostima della concentrazione di particelle determinata dai contatori qualora questa sia al di sopra del limite superiore di rilevabilità degli strumenti. Infine, ulteriore elemento critico riguarda il fatto che, sebbene i campionatori possano essere posizionati il più vicino possibile alla zona di lavorazione, i dati raccolti non sono indicativi dell'esposizione dei singoli lavoratori. Per tale motivo, la strategia NEAT 2.0 ha previsto anche la possibilità di condurre un successivo campionamento personale per valutare l'esposizione nella zona respirabile degli operatori (9). Sono al momento disponibili diversi strumenti innovativi, tra cui il MiniDisc, il Partector ed il Contatore Personale di Particelle Ultrafini (PUFP), per il monitoraggio personale della concentrazione numerica di NM, l'area di deposito della superficie polmonare, e la dimensione media delle particelle, oltre che campionatori personali per analisi su filtro (10,11). In relazione a quest'ultimo aspetto, un recente studio condotto in un centro di ricerca italiano sui NM, mediante monitoraggio personale, non ha dimostrato significativi incrementi nei livelli medi della concentrazione numerica di NM e dell'area di deposito della superficie polmonare durante lo svolgimento di differenti attività in comparti lavorativi dedicati alla sintesi di nanoparticelle di grafene, di nanofili semiconduttori, di altre tipologie di NM, alla liofilizzazione e all'analisi microscopica a trasmissione (12). Tuttavia, l'impiego sul campo di strumenti per il campionamento personale necessita di adeguata validazione focalizzata proprio al loro utilizzo durante le attività nei laboratori.

I risultati del monitoraggio ambientale devono essere, inoltre, comparati con eventuali valori limite di esposizione occupazionale (VLEO), al di sotto dei quali la lavorazione analizzata risulta sicura per quanto riguarda lo sviluppo di effetti sulla salute a carico della maggior parte dei lavoratori coinvolti. Le difficoltà relative a tale confronto sono legate sia alla capacità di istituire VLEO appropriati alla protezione dei lavoratori che di adottare tecniche di rilevazione sufficientemente sensibili per tali livelli (13). Nonostante tali obiettive difficoltà, alcuni Istituti di ricerca hanno proposto dei VLEO per i NM. Il NIOSH ha proposto come limite di esposizione professionale per le nanoparticelle di  $\text{TiO}_2$ , per un periodo lavorativo di 40 ore settimanali, il valore di  $0.3 \text{ mg/m}^3$ , mentre per i nanotubi di carbonio ha fissato il limite di  $1 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  riferito ad una media della concentrazione di carbonio ponderata su 8 ore lavorative nella frazione respirabile del particolato (14,15). Tali VLEO sono basati sulla concentrazione in massa delle particelle, un parametro che in scala nanome-

trica potrebbe non essere sufficientemente protettivo nei confronti della salute di lavoratori esposti rispetto ad altre caratteristiche chimico-fisiche.

Il monitoraggio biologico potrebbe avere un ruolo complementare al monitoraggio ambientale, dal momento che permette di considerare la variabilità interindividuale nell'assorbimento, nel metabolismo, ed escrezione degli xenobiotici; il carico di lavoro individuale; l'esposizione recente e pregressa (16). Sebbene diversi studi sperimentali *in vivo* abbiano indicato possibili biomarcatori di esposizione a NM (17), dati su lavoratori esposti risultano limitati (18). Pertanto, lo stato attuale delle conoscenze permette solo di ipotizzare marcatori biologici di esposizione che necessitano di essere confermati e validati in studi sul campo.

## Conclusioni

La natura delle attività di ricerca è caratterizzata da un'estrema variabilità e innovatività di processi che rendono complessa sia la valutazione che la gestione dell'esposizione degli operatori. Nel caso dei NM, tale difficoltà aumenta in relazione alla loro molteplicità e alla complessa caratterizzazione fisico-chimica.

Un programma di monitoraggio ambientale sufficientemente informativo dovrebbe prevedere la raccolta, mediante un approccio multi-strumentale, di differenti informazioni su più parametri metrologici relativi ai NM e di poterli campionare su filtro per successive analisi di caratterizzazione. L'utilizzo di strumenti portatili per il campionamento personale, in attesa di una più definita strategia di monitoraggio, potrebbe essere, invece, utile per evidenziare possibili sorgenti di emissione ed adeguare/implementare, in peculiari fasi del lavoro, le misure di prevenzione e protezione per gli operatori, oltre che a valutarne l'efficacia (10).

Gli studi al momento disponibili sul monitoraggio ambientale e personale di NM sono molto limitati e disomogenei in relazione alle attività monitorate, ai NM e ai parametri studiati e agli strumenti impiegati. Pertanto, definire dei protocolli operativi standardizzati è assolutamente importante per ottenere dati comparabili ed estrapolare delle informazioni utili per la gestione del rischio. Avere a disposizione una raccolta di dati sul monitoraggio ambientale e personale in differenti realtà lavorative con esposizione a NM potrebbe infatti contribuire alla definizione di linee di indirizzo per lo stesso monitoraggio ed incrementare la consapevolezza dei rischi derivanti dall'esposizione (12). I risultati ottenuti potrebbero quindi supportare in maniera vantaggiosa il processo di valutazione e gestione dei rischi. Inoltre, si potrebbero realizzare attività di ricerca finalizzate alla valutazione delle proprietà pericolose dei NM che, invece di utilizzare irrealistiche concentrazioni/dosi di esposizione potrebbero essere disegnate secondo modelli sperimentali rappresentativi dei reali livelli espositivi riscontrati nei luoghi di lavoro.

Tuttavia, al momento attuale, le limitate conoscenze sul profilo tossicologico dei NM e la mancanza di strategie condivise di analisi quantitativa dell'esposizione, ri-

chiedono un approccio cautelativo alla valutazione e gestione dei rischi. A tal fine, strumenti di "control banding" sono stati adottati a livello europeo ed extraeuropeo, con l'obiettivo di definire dei livelli di rischio in base alla categorizzazione dell'esposizione, sulla base di parametri essenzialmente di tipo qualitativo, e delle proprietà pericolose dei NM utilizzati. Tali livelli di rischio corrispondono ad altrettante misure di prevenzione e protezione per il controllo dell'esposizione. Alcuni strumenti di control banding, tra cui il CB Nanotool statunitense e il modello ANSES francese, sono stati prodotti per la valutazione dei rischi e la tutela della salute e sicurezza dei ricercatori impiegati in attività di laboratorio con esposizione a NM (19). Tali strumenti sono importanti per supportare la diffusione di una corretta gestione dei rischi nelle realtà di ricerca e colmare criticità legate alle limitate conoscenze tossicologiche, e alla mancanza di strategie di misurazione dell'esposizione e di valori limite adeguati. Un'indagine internazionale pubblicata nel 2010 (20) e condotta su laboratori di ricerca accademici e pubblici, ha infatti riportato come su 240 ricercatori intervistati, che sintetizzavano o utilizzavano NM, tre quarti riferiva l'assenza di procedure interne per la manipolazione di tali materiali. In merito ai dispositivi di protezione collettiva, il 47.5% riferiva di utilizzare cappe aspiranti per rischio chimico, il 15.2% dispositivi di aspirazione localizzata sul banco di lavoro, il 24% nessuna protezione. Il 48.8% degli operatori riferiva nessun tipo di dispositivo individuale per la protezione delle vie respiratorie, il 24.4% riportava l'utilizzo di maschere senza filtri, e pertanto inefficaci, e meno del 6% maschere specifiche per la protezione da NM.

Al fine di ridurre i livelli di esposizione, la gerarchia di controllo che prevede l'eliminazione o la sostituzione delle sostanze pericolose come primo passaggio potrà essere adottata anche in caso di esposizione a NM. A tale riguardo, l'approccio "nanosafety by design" dovrebbe essere applicato in tutte le fasi di ricerca e sintesi di nuovi NM, affinché essi siano progettati in maniera tale da essere più sicuri per la salute dei lavoratori esposti (2). L'utilizzo di forme di NM che possono disperdersi meno facilmente nell'ambiente di lavoro (soluzioni liquide *vs* polveri) o la riduzione di operazioni che possono favorire tale dispersione dovrebbe essere perseguita, oltre alla più generale riduzione dei livelli di NM utilizzati. Sistemi di lavoro a ciclo chiuso dovrebbero essere preferiti, ed in ogni caso, i lavoratori dovrebbero essere forniti di adeguati dispositivi di protezione individuale. L'informazione e la formazione degli operatori dei laboratori dovrebbe essere inoltre incrementata al fine di sensibilizzarli al rischio derivante dall'esposizione a NM e all'adozione di misure di prevenzione e protezione.

## Bibliografia

- 1) NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. Approaches to safe nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. Centers for Disease Control and Prevention, 2009. Disponibile al sito <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf>.

- 2) Leso V, Fontana L, Mauriello MC, et al. Occupational Risk Assessment of Engineered Nanomaterials: Limits, Challenges and Opportunities. *Current Nanosci* 2017; 13: 55-78.
- 3) NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories. Centers for Disease Control and Prevention, 2012. Disponibile al sito [https://ehs.psu.edu/sites/ehs/files/general\\_safe\\_practices\\_for\\_working\\_w\\_engineered\\_nanomaterials\\_in\\_research\\_laboratories\\_niosh\\_publication\\_no.\\_2012-147.pdf](https://ehs.psu.edu/sites/ehs/files/general_safe_practices_for_working_w_engineered_nanomaterials_in_research_laboratories_niosh_publication_no._2012-147.pdf)
- 4) NRC, National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, Commission on Life Sciences. 1983. National Academy Press, Washington D.C. 19s83 (ISBN: 0-309-03349-7).
- 5) Savolainen K, Alenius H, Norppa H, et al. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies—a review. *Toxicology* 2010; 269(2-3): 92-104.
- 6) Imhof C, Clark K, Meyer T, et al. Research and development—where people are exposed to nanomaterials. *J Occup Health*. 2015; 57(2): 179-188.
- 7) Johnson DR, Methner MM, Kennedy AJ, et al. Potential for occupational exposure to engineered carbon-based nanomaterials in environmental laboratory studies. *Environ Health Perspect* 2010; 118(1): 49-54.
- 8) Methner M, Hodson L, Dames A, et al. Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation exposure to engineered nanomaterials—Part B: Results from 12 field studies. *J Occup Environ Hyg* 2010; 7(3): 163-176.
- 9) Eastlake AC, Beaucham C, Martinez KF, et al. Refinement of the Nanoparticle Emission Assessment Technique into the Nanomaterial Exposure Assessment Technique (NEAT 2.0). *J Occup Environ Hyg* 2016; 13(9): 708-717.
- 10) Asbach C, Alexander C, Clavaguera S, et al. Review of measurement techniques and methods for assessing personal exposure to airborne nanomaterials in workplaces. *Sci Total Environ* 2017; 603-604:793-806.
- 11) Asbach C, Neumann V, Monz C, et al. On the effect of wearing personal nanoparticle monitors on the comparability of personal exposure measurements. *Environ Sci Nano* 2017; 4: 233-243.
- 12) Iavicoli I, Fontana L, Pingue P, et al. Assessment of occupational exposure to engineered nanomaterials in research laboratories using personal monitors. *Sci Total Environ* 2018; 627: 689-702.
- 13) Groso A, Petri-Fink A, Rothen-Rutishauser B, et al. Engineered nanomaterials: toward effective safety management in research laboratories. *J Nanobiotechnology* 2016; 14: 21.
- 14) NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. Occupational Exposure to Titanium Dioxide. No. 2011-160. Centers for Disease Control and Prevention, 2011. Disponibile al sito <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/pdfs/2011-160.pdf>.
- 15) NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health. Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. No. 2013-145. Centers for Disease Control and Prevention, 2013. Disponibile al sito <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>.
- 16) Manno M, Viau C, in collaboration with Cocker J et al. Biomonitoring for occupational health risk assessment (BOHRA). *Toxicol Lett* 2010; 192(1): 3-16.
- 17) Iavicoli I, Leso V, Manno M, et al. Biomarkers of nanomaterial exposure and effect: current status. *J Nanopart Res* 2014; 16: 2302.
- 18) Schulte P, Leso V, Niang M, et al. Biological monitoring of workers exposed to engineered nanomaterials. *Toxicol Lett*. 2018; 298: 112-124.
- 19) Liguori B, Hansen SF, Baun A, et al. Control banding tools for occupational exposure assessment of nanomaterials – Ready for use in a regulatory context? *NanoImpact* 2016; 2: 1-17.
- 20) Balas F, Arruebo M, Urrutia J, et al. Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. *Nat Nanotechnol* 2010; 5(2): 93-96.

**Corrispondenza:** Prof. Ivo Iavicoli, Dipartimento di Sanità Pubblica, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via S. Pansini 5, 80131 Napoli, Italy, Tel. e Fax 0817462340, E-mail: [ivo.iavicoli@unina.it](mailto:ivo.iavicoli@unina.it)