

STRUMENTI PER LA GESTIONE DEI NANOMATERIALI SUL LUOGO DI LAVORO E MISURE DI PREVENZIONE

Questa scheda informativa presenta vari strumenti per la gestione dei rischi che sono intesi a facilitare l'adozione di adeguate misure di prevenzione sul lavoro e ad assistere le imprese nella valutazione dei rischi legati ai nanomateriali.

1. Introduzione

1.1 Cosa sono i nanomateriali?

I nanomateriali sono materiali contenenti particelle con una o più dimensioni comprese tra 1 e 100 nm ⁽¹⁾, quindi equiparabili a quelle degli atomi e delle molecole. Possono essere di origine naturale, come le ceneri dei vulcani, o una conseguenza involontaria delle attività umane, come quelli contenuti nei fumi di scarico dei motori diesel. Tuttavia, l'oggetto principale della presente pubblicazione è costituito dai molti nanomateriali prodotti e commercializzati intenzionalmente.

I nanomateriali hanno proprietà specifiche, dovute principalmente alle piccole dimensioni e alla grande area superficiale, ma anche alla forma, alla natura chimica, alla funzione e al trattamento della superficie, che offrono molti vantaggi per varie applicazioni. Per via di tali caratteristiche, i nanomateriali possono avere tuttavia anche un'ampia serie di effetti potenzialmente tossici, nonostante tali effetti siano assenti negli stessi materiali di maggiori dimensioni [2, 3].

1.2 Rischi per la salute e la sicurezza associati ai nanomateriali e vie di esposizione

In condizioni ambientali normali, i nanomateriali possono formare agglomerati o aggregati di dimensioni superiori a 100 nm, modificando quindi le loro proprietà specifiche, pur senza necessariamente perderle. Tuttavia, possono esserci emissioni da questi nanomateriali da agglomerati con legami deboli e, in talune condizioni, anche da aggregati con legami più forti. Attualmente si sta studiando se emissioni di questo tipo possano verificarsi nel liquido polmonare in seguito all'inalazione di tali agglomerati o aggregati [2, 3]. Pertanto, nella valutazione dei rischi sul luogo di lavoro dovrebbero essere presi in considerazione anche gli agglomerati e gli aggregati contenenti nanomateriali.

Il meccanismo di esposizione interna, conseguente all'ingresso di nanomateriali nell'organismo, potrebbe comprendere un ulteriore processo di assorbimento, distribuzione e metabolizzazione. Alcuni nanomateriali sono stati trovati, ad esempio, nei polmoni, nel fegato, nei reni, nel cuore, negli organi riproduttivi, nei feti, nel cervello, nella milza, nello scheletro e nei tessuti molli [2]. Restano ancora aperte alcune questioni riguardo al bioaccumulo dei nanomateriali e ai meccanismi di eliminazione dalle cellule e dagli organi. Un altro aspetto rilevante è che un nanomateriale, pur non essendo di per

¹ Secondo una raccomandazione della Commissione europea [1]:

- con "nanomateriale" s'intende "un materiale naturale, derivato o fabbricato contenente particelle allo stato libero, aggregato o agglomerato, e in cui, per almeno il 50 % delle particelle nella distribuzione dimensionale numerica, una o più dimensioni esterne siano comprese fra 1 nm e 100 nm. La distribuzione dimensionale numerica si esprime come il numero degli oggetti entro un dato intervallo dimensionale diviso per il numero totale degli oggetti".
- "In casi specifici, e laddove le preoccupazioni per l'ambiente, la salute, la sicurezza e la competitività lo giustificano, la soglia del 50 % della distribuzione dimensionale numerica può essere sostituita da una soglia compresa fra l'1 % e il 50 %".
- "In deroga [a quanto precede], i fullereni, i fiocchi di grafene e i nanotubi di carbonio a parete singola con una o più dimensioni esterne inferiori a 1 nm dovrebbero essere considerati nanomateriali".

sé tossico, potrebbe legarsi al nanomateriale tossico e riuscire ad entrare nell'organismo, negli organi o nelle cellule [4].

Gli effetti più importanti dei nanomateriali sono stati riscontrati nei polmoni e comprendono, tra l'altro, infiammazioni e danni ai tessuti, stress ossidativo, tossicità cronica, citotossicità, fibrosi e formazione di tumori. In alcuni casi ne può essere interessato anche il sistema cardiovascolare. Le proprietà potenzialmente pericolose dei nanomateriali fabbricati sono oggetto di continue ricerche [2, 3].

Sono possibili tre principali vie di esposizione ai nanomateriali sul luogo di lavoro [2, 4-8]:

- l'**inalazione** è la via più comune di esposizione alle nanoparticelle sospese nell'aria sul luogo di lavoro. Le nanoparticelle inalate possono depositarsi nelle vie respiratorie e nei polmoni a seconda della loro forma e dimensione. In seguito all'inalazione, possono attraversare l'epitelio polmonare, entrare nel flusso sanguigno e raggiungere altri organi e tessuti. È stato inoltre constatato che alcuni nanomateriali inalati hanno raggiunto il cervello attraverso il nervo olfattivo;
- può verificarsi l'**ingestione** in seguito al trasferimento involontario dalle mani alla bocca da superfici contaminate o all'ingestione di alimenti o acqua contaminati. I nanomateriali possono essere ingeriti in seguito a inalazione, in quanto le particelle inalate che sono eliminate dalle vie respiratorie tramite il sistema mucociliare possono essere deglutite. Alcuni nanomateriali ingeriti possono attraversare l'epitelio intestinale, entrare nel flusso sanguigno e raggiungere altri organi e tessuti;
- la penetrazione **dermica** è tuttora oggetto d'indagine [6, 8]. Una pelle integra sembra essere una valida barriera contro l'assorbimento dei nanomateriali [9]. Una pelle danneggiata sembra essere meno efficace, tuttavia il livello di assorbimento dovrebbe essere inferiore a quello associato all'inalazione [9]. Ciononostante, è necessario prevenire e controllare il contatto dermico.

La possibilità di un'esposizione dipende quindi soprattutto dalla probabilità che i nanomateriali si diffondano nell'aria, e, in questo caso, le polveri o i liquidi nebulizzati presentano un rischio potenziale maggiore rispetto alle sospensioni nei liquidi, alle paste, ai materiali o ai composti granulari. A loro volta, i nanomateriali contenuti nei liquidi presentano un rischio potenziale maggiore rispetto alle nanostrutture legate o fisse, come quelle incorporate in una matrice polimerica [10].

Ultimo, ma non per questo meno importante, i pericoli per la sicurezza possono derivare anche dall'elevato grado di esplosività, infiammabilità e potenziale catalitico di alcune nanopolveri (nanomateriali in polvere), in particolare quelle metalliche.

1.3 Gestione dei rischi associati ai nanomateriali sul luogo di lavoro

Sul luogo di lavoro, i datori di lavoro sono obbligati a garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori in tutti gli aspetti connessi con il lavoro effettuando regolarmente valutazioni dei rischi, come specificato nella direttiva quadro 89/391/CEE [11], includendovi anche i rischi che possono derivare dai nanomateriali. Inoltre, la direttiva 98/24/CE relativa agli agenti chimici sul luogo di lavoro [12] impone disposizioni più rigorose sulla gestione dei rischi derivanti dalle sostanze pericolose cui si è esposti durante il lavoro, in particolare per quanto riguarda una gerarchia delle misure di prevenzione in cui si attribuisce la priorità alle misure di eliminazione o di sostituzione, che si applicano anche ai nanomateriali in quanto rientranti nella definizione di "sostanze". Se un nanomateriale, o il materiale su macroscala con la stessa composizione, è cancerogeno o mutageno, è necessario adempiere anche gli obblighi derivanti dalla direttiva 2004/37/CE relativa agli agenti cancerogeni e mutageni sul luogo di lavoro [13]. In ogni caso, è necessario far riferimento alla legislazione nazionale che può prevedere disposizioni più rigorose.

Poiché i nanomateriali sono considerati sostanze, sono altrettanto rilevanti il regolamento REACH (concernente la registrazione, la valutazione e l'autorizzazione delle sostanze chimiche) [14] e il regolamento CLP (relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele) [15].

Nonostante le ricerche in corso, il campo delle nanotecnologie si evolve più velocemente rispetto all'acquisizione delle conoscenze sugli aspetti relativi alla salute e alla sicurezza dei nanomateriali. Restano ancora da colmare varie lacune conoscitive riguardo alle implicazioni dei nanomateriali per la salute e la sicurezza dei lavoratori e ai metodi di valutazione dei rischi.

Quando intraprendono una valutazione dei rischi derivanti dai nanomateriali sul luogo di lavoro, i datori di lavoro potrebbero quindi trovarsi di fronte alle seguenti difficoltà:

1. informazioni insufficienti sulle proprietà pericolose dei nanomateriali;
2. mancanza di consenso sui dispositivi e i metodi standardizzati da utilizzare per misurare i livelli di esposizione e per individuare i nanomateriali e le fonti di emissione;
3. informazioni limitate sull'efficacia delle misure di riduzione dei rischi (filtri, guanti, ecc.);
4. mancanza di informazioni sulla presenza dei nanomateriali, in particolare nelle miscele o negli articoli e nella catena degli utilizzatori, quando i nanomateriali, o i prodotti che li contengono, sono utilizzati o trasformati.

Le schede di dati di sicurezza (SDS) sono un importante strumento di informazione per la prevenzione dei rischi derivanti dalle sostanze pericolose sui luoghi di lavoro. Tuttavia, le informazioni sulla presenza dei nanomateriali e sulle loro caratteristiche, sui rischi per i lavoratori e sulle misure di prevenzione contenute in tali schede sono in generale scarse o inesistenti [17-19]. Le organizzazioni sono quindi invitate a rivolgersi direttamente ai fornitori per richiedere ulteriori informazioni. Le modifiche apportate all'allegato II del regolamento REACH [20], che costituisce il quadro giuridico per le schede dati di sicurezza, e gli orientamenti dell'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA) sulla compilazione di tali schede [21], che forniscono ulteriori consigli sulle indicazioni relative alle caratteristiche dei nanomateriali, dovrebbero migliorare la qualità delle informazioni contenute nelle SDS.

Gli orientamenti dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) [22] aiutano a individuare le possibili fonti di emissioni di nanomateriali sospesi nell'aria in relazione a vari tipi di processi e di pratiche lavorative.

Dalle indicazioni preliminari si desume che, quando si valutano le esposizioni, è necessario prestare particolare attenzione alle attività e alle pratiche sul luogo di lavoro di seguito specificate, alle quali deve essere quindi attribuita la priorità per la gestione dei rischi:

- attività in cui si utilizzano nanomateriali con le seguenti proprietà:
 - nanomateriali con effetti tossici specifici noti (ad esempio, l'arsenico e il cadmio e i relativi composti o la silice cristallina), o per i quali lo stesso materiale su macroscale è noto per i suoi effetti tossici specifici;
 - nanomateriali biopersistenti, non fibrosi (come il biossido di titanio e l'ossido di alluminio) e fibrosi (come i nanotubi di carbonio);
 - materiali solubili per i quali sono stati individuati pericoli per la salute o per i quali non è dimostrata l'assenza di pericoli per la salute;
- qualsiasi situazione in cui i nanomateriali possono diffondersi nell'aria, come il carico e lo scarico di nanomateriali o di sostanze chimiche che li contengono da attrezzature per la frantumazione o la miscelazione, l'inserimento di sostanze chimiche in container, il campionamento di sostanze chimiche fabbricate e l'apertura dei sistemi per il recupero dei prodotti,
- la pulizia e la manutenzione degli impianti (compresi i sistemi di produzione chiusi) e dei dispositivi per la riduzione dei rischi, come i filtri nei sistemi di ventilazione a estrazione locale;
- la ricerca e lo sviluppo di sostanze contenenti nanomateriali, come i materiali composti;
- la manipolazione di polveri e miscele di nebulizzazione contenenti nanomateriali; le polveri potrebbero presentare un rischio più elevato di esplosione, autocombustione e carica elettrostatica e creare quindi problemi per la sicurezza. Inoltre, si possono formare nuvole di polvere che comportano un'esposizione all'inalazione;
- il trattamento meccanico o termico di articoli contenenti nanomateriali che potrebbero essere emessi in seguito a processi quali il trattamento con laser, la molatura o il taglio;
- operazioni di trattamento di rifiuti che comprendono articoli contenenti nanomateriali.

In linea di principio, tutte le attività in cui sono implicati nanomateriali svolte al di fuori di un impianto ermetico possono essere considerate critiche in quanto presentano un rischio di esposizione per i lavoratori. Sono tuttavia possibili esposizioni anche con gli impianti ermetici, ad esempio in caso di perdite o durante le attività di pulizia e di manutenzione, e questo aspetto deve essere considerato

nella valutazione dei rischi e nell'applicazione di misure di prevenzione.

Nelle procedure di gestione dei rischi è importante attribuire la priorità non solo ai nanomateriali con effetti noti sulla salute e sulla sicurezza, ma anche a quelli per i quali le informazioni riguardo ai relativi pericoli e ai livelli di esposizione sono assenti, incomplete o incerte, nel cui caso dovrebbe essere applicato un approccio precauzionale per prevenire l'esposizione ai nanomateriali sul luogo di lavoro.

Poiché, date le incertezze menzionate in precedenza, non sempre i metodi tradizionali di valutazione dei rischi derivanti dalle sostanze pericolose sono applicabili ai nanomateriali, una soluzione alternativa è costituita dalle fasce di controllo. Si tratta di un metodo semplificato di valutazione dei rischi derivanti da determinate attività, e dalle sostanze chimiche implicate, e di suddivisione in fasce a seconda del rispettivo pericolo potenziale e della possibilità di esposizione sul luogo di lavoro considerato.

Questa scheda informativa presenta alcuni di tali strumenti a fasce di controllo per la gestione dei rischi che sono intesi a facilitare l'adozione di adeguate misure di prevenzione nei luoghi di lavoro e che, nel contesto delle limitazioni menzionate, potrebbero fornire alle imprese un aiuto e un orientamento nelle procedure di valutazione dei rischi.

2 Guide e strumenti disponibili per la gestione dei nanomateriali sul luogo di lavoro

Per superare le limitazioni già menzionate e per facilitare la valutazione e la gestione dei rischi derivanti dai nanomateriali sul luogo di lavoro, sono stati istituiti vari strumenti e guide utili e informativi.

Come nel caso di qualsiasi altra valutazione dei rischi, la complessità e la precisione necessarie dipendono dalla sostanza pericolosa implicata e dall'attività svolta; in situazioni più complesse, si raccomanda quindi di ricorrere all'assistenza di esperti per applicare tali strumenti.

Oltre alle guide e agli strumenti di seguito descritti, al momento della redazione del presente documento la Commissione europea ha incaricato Risk & Policy Analysts Ltd (<http://www.rpaltd.co.uk/>), insieme a IVAM UvA BV (<http://www.ivam.uva.nl>), di preparare orientamenti pratici volti a garantire condizioni di sicurezza sui luoghi di lavoro in cui si utilizzano nanomateriali di sintesi e nanotecnologia, nell'ambito di uno studio più ampio condotto allo scopo di accertare il possibile impatto dei nanomateriali e della nanotecnologia sul luogo di lavoro e di valutare la portata e i requisiti di possibili modifiche della legislazione dell'UE in materia di salute e di sicurezza sul lavoro (maggiori informazioni sono disponibili ai seguenti indirizzi:

<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=en&callId=311&furtherCalls=yes>).

2.1 Strumenti a fasce di controllo interattivi online

Le fasce di controllo sono un sistema qualitativo o semiquantitativo di valutazione e di gestione dei rischi inteso a promuovere la salute e la sicurezza sul lavoro (SSL), riducendo al minimo l'esposizione dei lavoratori alle sostanze chimiche pericolose e ad altri fattori di rischio sul luogo di lavoro, in particolare in situazioni lavorative in cui le informazioni sui pericoli, i livelli di esposizione e i rischi sono limitate. Si tratta di strumenti che consentono di ovviare alle incertezze relative ai pericoli legati a un determinato ambiente di lavoro o una particolare attività professionale valutando il rischio potenziale in modo pragmatico e precauzionale. In altre parole, in mancanza di una serie di dati completa, si adotta un approccio precauzionale.

Le fasce di controllo offrono alle organizzazioni un modo facilmente comprensibile e pratico per valutare i rischi derivanti dai nanomateriali nei luoghi di lavoro, aiutandole a scegliere le misure di prevenzione adeguate e ad acquisire una maggiore consapevolezza dei rischi associati all'uso e alla manipolazione dei nanomateriali. Possono quindi rivelarsi particolarmente utili per le piccole e medie imprese (PMI), e soprattutto per le microimprese, che possono dover far fronte all'ulteriore difficoltà di una minore disponibilità di risorse o di competenze interne in questo settore.

La maggior parte di tali strumenti è in continuo sviluppo e può essere aggiornata con le nuove conoscenze sugli aspetti dei nanomateriali inerenti alla salute e alla sicurezza, sui metodi di misurazione dei livelli di esposizione e sulle misure di prevenzione. Tuttavia, data l'attuale ristrettezza delle informazioni in materia, il sistema delle fasce di controllo si basa su varie ipotesi relative ai

pericoli e all'esposizione e il suo uso è soggetto ad alcune limitazioni.

2.1.1 Stoffenmanager Nano (disponibile in olandese, inglese e finlandese)

Disponibile all'indirizzo: <http://nano.stoffenmanager.nl/Default.aspx>

Stoffenmanager Nano Module 1.0 (versione 1.0) è uno strumento a fasce di controllo istituito dal ministero olandese degli Affari sociali e dell'occupazione in collaborazione con TNO, ossia l'organizzazione olandese per la ricerca scientifica applicata, e Arbo Unie, per la valutazione qualitativa e la gestione dei rischi per la salute sul lavoro derivanti dall'esposizione ai nanomateriali per inalazione [23]. Stoffenmanager Nano è inteso ad aiutare i datori di lavoro e i lavoratori ad attribuire la priorità alle situazioni di esposizione che comportano la manipolazione di nanomateriali e a scegliere misure adeguate per il controllo dei rischi. Lo strumento è disponibile online gratuitamente (è necessario registrarsi sul sito corrispondente).

È adatto per tutti i tipi di nanomateriali fabbricati insolubili, come ad esempio il carbonio, le nanoparticelle di metallo e di ossido di metallo e le nanofibre persistenti. In caso di nanoparticelle solubili, si consiglia di far ricorso allo strumento Stoffenmanager generico per la gestione del rischio professionale associato alle sostanze pericolose. Stoffenmanager Nano può essere utilizzato quando la dimensione delle nanoparticelle primarie è inferiore a 100 nm o l'area superficiale specifica della nanopolvere è maggiore di 60 m²/g. Lo strumento si applica alle singole particelle e agli agglomerati o agli aggregati. È basato sulla determinazione di fasce di pericolo e di esposizione attraverso vari attributi, a ciascuno dei quali viene assegnato un punteggio. Tutti questi punteggi determinano una particolare fascia di pericolo (basso, medio, elevato, molto elevato o estremo) e fascia di esposizione (bassa, media, elevata o molto elevata). La combinazione di tali fasce determina la priorità complessiva del rischio (bassa, media o elevata).

Gli attributi utilizzati per classificare i nanomateriali in tali fasce di pericolo si riferiscono alle proprietà e ai dati tossicologici dei nanomateriali e alle proprietà dello stesso materiale nella sua forma più grande. Tutte le nanofibre insolubili sono classificate nella fascia più pericolosa a causa delle preoccupazioni relative agli effetti successivi all'inalazione, simili a quelli dell'amianto.

L'esposizione potenziale viene valutata in maniera graduale, tenendo conto di vari aspetti quali, ad esempio, la fonte del nanomateriale e la zona di respirazione del lavoratore. I fattori utilizzati per stabilire la fascia di esposizione sono i seguenti:

- il potenziale di diffusione nell'aria del nanomateriale (polverosità);
- il processo di manipolazione dei nanomateriali;
- le misure di controllo in uso;
- il potenziale di diluizione/dispersione del nanomateriale;
- la separazione del lavoratore;
- la contaminazione superficiale;
- il dispositivo di protezione delle vie respiratorie in uso;
- la frequenza del compito;
- la durata del compito.

Infine, lo strumento Stoffenmanager Nano crea tre fasce (o priorità) di rischio combinando i risultati delle fasi di determinazione delle fasce di esposizione e di pericolo. Può quindi essere definito un piano per la riduzione dei rischi. Per ogni fascia di rischio Stoffenmanager Nano fornisce un elenco di possibili misure di controllo applicabili al fine di ridurre l'esposizione potenziale e quindi il rischio. In seguito viene di nuovo eseguita automaticamente la procedura di valutazione dei rischi, consentendo all'utilizzatore di verificare l'efficacia delle misure di controllo scelte.

Stoffenmanager Nano offre la possibilità di generare e stampare una relazione con i risultati della valutazione dei rischi. Inoltre, l'utilizzatore ha la possibilità di creare un elenco/una libreria dei nanoprodotto utilizzati sul luogo di lavoro/nell'impresa e può disporre di schede didattiche con esempi

di buone pratiche e di filmati PIMEX ⁽²⁾.

2.1.2 CB Nanotool 2.0 (disponibile in inglese)

Disponibile all'indirizzo: <http://controlbanding.net/Services.html>

CB Nanotool 2.0 è uno strumento interattivo basato sulle fasce di controllo per i nanomateriali. È stato messo a punto negli Stati Uniti presso il Lawrence Livermore National Laboratory allo scopo di eseguire una valutazione dei rischi e di proteggere i ricercatori nel laboratorio [24-26].

Lo strumento utilizza una matrice di rischio 4x4 per stabilire il livello di rischio, con i parametri di gravità su un asse e i parametri di probabilità sull'altro asse. Il punteggio di gravità si calcola utilizzando i seguenti fattori:

- proprietà del nanomateriale o caratteristiche chimiche della superficie;
 - forma delle particelle;
 - diametro delle particelle;
 - solubilità;
 - proprietà cancerogene, mutagene e tossiche per la riproduzione (CMR) (tre fattori);
 - tossicità dermica;
 - proprietà che provocano l'asma;
- proprietà del materiale originario:
 - tossicità basata sul livello di esposizione professionale (OEL) del materiale originario;
 - proprietà cancerogene, mutagene e tossiche per la riproduzione (tre fattori);
 - potenziale pericolo dermico;
 - proprietà che provocano l'asma.

Il punteggio di probabilità è basato sui seguenti fattori che determinano la portata dell'esposizione potenziale:

- quantità di nanomateriale manipolato durante la lavorazione;
- livello di polverosità o di nebulosità del materiale;
- numero di lavoratori con esposizione simile;
- frequenza dell'operazione;
- durata dell'operazione.

Lo strumento fornisce indicazioni riguardo alle modalità di assegnazione di un punteggio a ciascuno di tali parametri e stabilisce il punteggio massimo attribuibile.

Lo strumento cerca di ovviare al problema delle incertezze esistenti riguardo ai rischi per la salute derivanti dai nanomateriali attraverso una combinazione di informazioni sul nanomateriale e sullo stesso materiale su macroscale. Se le informazioni richieste a proposito di un parametro specifico non sono note, al parametro sconosciuto si assegna il valore d'ingresso pari al 75% del punteggio massimo definito per tale parametro dallo strumento. In questo modo si raggiunge un equilibrio tra il principio di precauzione (approccio conservativo) e una stima scientifica ragionevole, consentendo alla ricerca di progredire pur continuando a proteggere i lavoratori.

Il livello di rischio della lavorazione del nanomateriale viene accertato combinando i punteggi di gravità

² I filmati PIMEX (Picture Mixed Exposure) possono essere utilizzati per porre in evidenza gli effetti delle misure di controllo. Il ministero olandese degli Affari sociali e dell'occupazione ha realizzato tali filmati nell'ambito del potenziamento del programma per le politiche in materia di salute e sicurezza in relazione alle sostanze. Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo: <https://www.stoffenmanager.nl/Public/Pimex.aspx>

e di probabilità. Il metodo definisce quattro possibili livelli di rischio, a ciascuno dei quali corrisponde una fascia di controllo:

- applicazione di una ventilazione generale (livello di rischio più basso);
- cappa aspirante o ventilazione a estrazione locale;
- contenimento;
- necessità di una consulenza specializzata (livello di rischio più elevato).

2.1.3 NanoSafer (disponibile in danese)

Disponibile all'indirizzo: <http://nanosafer.i-bar.dk/>

NanoSafer è uno strumento a fasce di controllo danese per la gestione dei nanomateriali sul luogo di lavoro [27]. Questo strumento a fasce di controllo riguarda unicamente i nanomateriali in polvere. NanoSafer è stato creato dall'Istituto tecnologico danese e dal Centro nazionale di ricerca per l'ambiente di lavoro. Si tratta di uno strumento online gratuito (è necessario registrarsi sul sito corrispondente), tuttavia è disponibile solo in danese.

Nella prima fase prevista dallo strumento si individuano il nanomateriale e le relative proprietà fisiche (dimensione, densità e area superficiale delle particelle), il livello di esposizione professionale (se disponibile), l'indice di polverosità (per la polvere respirabile o minerale) e le informazioni tossicologiche riportate sulla scheda di dati di sicurezza.

La seconda fase consiste nella definizione del processo (manipolazione della polvere o emissione accidentale, come una perdita), della quantità di nanomateriale utilizzata, della frequenza di utilizzo e dell'ambiente di lavoro.

Il metodo combina i dati sul materiale (che consentono di valutare il livello di tossicità) con i dati sul processo (che consentono di valutare il livello di esposizione). Si valuta il livello di rischio per l'esposizione acuta (15 minuti) e un'esposizione di 8 ore in riferimento sia ai lavoratori vicini alla fonte di emissione sia a quelli lontani da tale fonte (esposizione in campo vicino e in campo lontano rispettivamente). Inoltre, lo strumento raccomanda misure di controllo adeguate per ogni livello di rischio, con video didattici riguardanti dette misure.

2.2 Altri strumenti a fasce di controllo per i nanomateriali

2.2.1 Strumento a fasce di controllo dell'ANSES per i nanomateriali (disponibile in francese e in inglese)

Disponibile all'indirizzo: <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2820&parentid=805>

Questo strumento a fasce di controllo per i nanomateriali è stato messo a punto da esperti dell'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, Francia) in collaborazione con un gruppo di esperti dell'Istituto nazionale di ricerca e sicurezza (INRS, Francia), l'Institut de Recherche Robert Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST, Canada), l'Istituto nazionale di sanità pubblica (ISP-WIV, Belgio) e l'Istituto per il lavoro e la salute (IST, Svizzera). Lo strumento a fasce di controllo dell'ANSES è disponibile solo in versione cartacea [28].

Può essere utilizzato in un ambiente di lavoro in cui si producono o si utilizzano i nanomateriali, come ad esempio stabilimenti industriali, laboratori di ricerca e impianti pilota.

Gli autori sottolineano che questo metodo deve essere integrato in un sistema generale per la gestione della salute e della sicurezza sul lavoro, al pari di tutti gli altri strumenti descritti nel presente documento. Il suo uso è tuttavia soggetto ad alcune limitazioni:

- il metodo dovrebbe essere applicato solo alla manipolazione ordinaria dei materiali sul luogo di lavoro, nell'ambito delle normali attività dell'impresa;
- i nanomateriali non dovrebbero essere troppo diluiti né in quantità troppo grande;
- il metodo è utilizzabile per stabilire i rischi per la salute, ma non quelli per la sicurezza (come, ad

esempio, il rischio di incendio/esplosione) o per l'ambiente.

Si raccomanda inoltre che l'utilizzatore sia adeguatamente qualificato in materia di prevenzione dei rischi chimici (disponendo, ad esempio, di competenze chimiche e tossicologiche), nonché in materia di nanoscienza e nanotecnologia. Infine, si tenga presente che se si applica il metodo senza le competenze, il senso critico o l'assistenza necessari si possono trarre conclusioni errate e adottare misure di prevenzione inadeguate, aumentando quindi il rischio di esposizione.

L'assegnazione delle fasce di pericolo inizia con alcune domande preliminari il cui scopo è stabilire quanto segue:

- se il prodotto o il materiale utilizzato nel processo lavorativo contiene nanomateriali;
- se il nanomateriale o il prodotto che contiene nanomateriali è classificato come sostanza pericolosa;
- se il prodotto contiene nanomateriali fibrosi biopersistenti.

Se il nanomateriale o il prodotto in questione è classificato in base alla legislazione sulle sostanze chimiche e l'etichettatura, per l'assegnazione della fascia di pericolo devono essere utilizzate le informazioni relative a tale classificazione. Se le informazioni tossicologiche sono incomplete o inesistenti, si effettua un'assegnazione preliminare della fascia di pericolo sulla base delle informazioni disponibili per il materiale originario o un materiale analogo (ossia una sostanza con una composizione simile e/o una fase cristallina e della stessa categoria chimica, con proprietà fisicochimiche documentate simili a quelle della sostanza in questione). Nei casi in cui si utilizzino informazioni sulla tossicità di un materiale originario o un materiale analogo, lo strumento descrive i fattori di incremento che servono a ovviare alle incertezze legate all'analogia effettuata. Il materiale sfuso eventualmente esistente ha la precedenza sul materiale analogo. Infine, in caso di varie possibilità di scelta per lo stesso materiale (analogo) sfuso, si deve tenere conto di quello più tossico.

Lo strumento non è applicabile se la tossicità del nanomateriale non è nota o non può essere associata a un materiale originario o un materiale analogo.

Allo scopo di assegnare le operazioni sui nanomateriali alle fasce di esposizione, deve essere stimato il potenziale di emissione di ogni operazione. Un parametro fondamentale per tale stima è costituito dalla forma fisica del nanomateriale lavorato. Si considerano quattro categorie fisiche: solidi, liquidi, polveri e aerosol. In alcuni casi, si modifica il potenziale di emissione della forma fisica per tenere conto della tendenza naturale del materiale a diffondersi nell'aria [alcuni esempi: i solidi friabili (solidi che possono essere frantumati, polverizzati o ridotti in polvere in seguito alla pressione di una mano umana ordinaria), i liquidi altamente volatili o le polveri con una polverosità elevata o moderata] e di taluni processi (ad esempio, la fusione e la nebulizzazione).

La fascia di controllo dei rischi è stabilita combinando la fascia di pericolo e la fascia di potenziale di emissione. Si raccomandano soluzioni tecniche per ognuna delle cinque fasce di controllo dei rischi (CL) definite nello strumento:

- ventilazione generale naturale o meccanica (CL1);
- ventilazione locale (CL2);
- ventilazione chiusa (CL3);
- contenimento totale (CL4);
- contenimento totale e valutazione di un esperto (CL5).

2.2.2 Guida al lavoro in sicurezza con i nanomateriali e i nanoprodotti per i datori di lavoro e i lavoratori (disponibile in inglese)

Disponibile all'indirizzo:

<http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>

Questa guida, basata sul sistema a fasce di controllo, è il risultato di uno sforzo comune tra i datori di lavoro e i lavoratori olandesi e le parti sociali FNV, VNO-NCV e CNV ed è finanziata dal ministero olandese degli Affari sociali e dell'occupazione. La guida è intesa soprattutto a consentire ai datori di lavoro e ai lavoratori di organizzare un ambiente in cui sia possibile lavorare con i nanomateriali e i prodotti che li contengono in condizioni di sicurezza e ad assisterli nella definizione di adeguate

misure di controllo e nell'attuazione di buone pratiche lavorative. È disponibile soltanto in versione cartacea [29].

La guida prevede otto fasi diverse e fornisce i moduli adeguati per raccogliere le informazioni necessarie:

- effettuare un inventario dei nanomateriali prodotti o utilizzati;
- stabilire i possibili pericoli per la salute associati ai nanomateriali prodotti o utilizzati (tre categorie);
- effettuare un inventario delle attività svolte con i nanomateriali;
- valutare la possibilità che i lavoratori siano esposti a nanoparticelle attraverso le attività eseguite (tre categorie);
- ottenere la risultante fascia di controllo per ogni attività (tre categorie);
- definire un piano d'azione con misure di controllo dei rischi;
- creare un registro per tutti i lavoratori che trattano i nanomateriali con categoria di pericolo 2 o 3; e
- esaminare se è possibile una sorveglianza medica preventiva e agire di conseguenza.

La guida è semplice e facile da usare e fornisce raccomandazioni per le misure di gestione dei rischi per migliorare la sicurezza quando si lavora con i nanomateriali di sintesi. Si sottolinea che si applica la legislazione vigente riguardo alle attività lavorative con sostanze pericolose; se il materiale di dimensioni più grandi corrispondente del nanomateriale è stato classificato come sostanza cancerogena, mutagena e tossica per la riproduzione, o se lo stesso nanomateriale presenta caratteristiche cancerogene, mutagene o tossiche per la riproduzione, occorre attenersi alla legislazione pertinente. La guida non tratta la gestione dei rischi derivanti da nanomateriali generati involontariamente, come i fumi dei motori diesel o di saldatura.

2.2.3 Foglio di lavoro contenente uno strumento a fasce di controllo per i nanomateriali per la salute e la sicurezza sul lavoro del Queensland (disponibile in inglese)

Disponibile all'indirizzo:

<http://www.deir.qld.gov.au/workplace/subjects/nanotechnology/controlbanding/index.htm>

La sezione delle fasce di controllo di questo foglio di lavoro è simile a CB Nanotool 2.0. Si tratta di uno strumento che prende in considerazione anche l'inflammabilità dei nanomateriali, tuttavia il foglio di lavoro non comprende tutte le informazioni necessarie per valutare i rischi d'incendio e di esplosione dei nanomateriali.

Questo strumento è particolarmente rilevante per le strutture di ricerca, in cui è probabile che si utilizzino quantità limitate di nanomateriali. È tuttavia applicabile in generale a tutti i luoghi di lavoro in cui sono presenti nanomateriali. Questo strumento dovrebbe migliorare nel momento in cui diventeranno disponibili maggiori informazioni sui pericoli e i rischi legati ai nanomateriali.

2.3 Altri strumenti

2.3.1 GoodNanoGuide (GNG) (disponibile in inglese)

Disponibile all'indirizzo: <http://www.goodnanoguide.org>

GoodNanoGuide (GNG) è una piattaforma di collaborazione interattiva online creata dal Consiglio internazionale per la nanotecnologia dell'Università di Rice, negli Stati Uniti. Il sito Internet costituisce una piattaforma per lo scambio d'idee sulla manipolazione dei nanomateriali sul luogo di lavoro, oltre a fornire indicazioni sul modo migliore per manipolare i nanomateriali in un ambiente professionale per gli utilizzatori principianti, intermedi e avanzati [30].

Nella **sezione di base** è riportata solo una breve spiegazione dei nanomateriali, della nanotecnologia e della relativa sicurezza, con collegamenti ad altre risorse online.

Nella **sezione intermedia** si parte dal presupposto che l'utilizzatore abbia già una certa conoscenza delle nanotecnologie e dei nanomateriali e sia alla ricerca di orientamenti o protocolli riguardanti il

lavoro con tipi specifici di nanomateriali di sintesi. Questa sezione propone tre diversi metodi per classificare i nanomateriali. Gli utilizzatori decidono il metodo migliore per la situazione esistente nel proprio luogo di lavoro:

- il primo è un metodo a fasce di controllo semplificato in cui i nanomateriali sono classificati in base al livello di conoscenza dei pericoli legati al nanomateriale (noto come inerte/reattivo/sconosciuto). Comprende anche indicazioni per il controllo dell'esposizione basato sulla durata dell'esposizione (breve/media/lunga) e sul potenziale di dispersione nell'aria del nanomateriale (materiali legati/emissione potenziale/materiali liberi o non legati);
- il secondo metodo proposto proviene dalla British Standards Institution (BSI), secondo cui i nanomateriali sono classificati per tipo di pericolo (fibroso/cancerogeno, mutageno, provoca l'asma o tossico per la riproduzione/insolubile/solubile) [31]. È considerato un punto di partenza per la valutazione dei pericoli. Non viene fornita alcuna indicazione per la valutazione/il controllo dell'esposizione;
- il terzo metodo è basato sulla struttura chimica del nanomateriale (fullereni/nanotubi di carbonio (CNT)/metalli/ossidi/punti quantici/nanomateriali semiconduttori). Sono fornite informazioni su rischi specifici e su protocolli per la manipolazione sicura.

La sezione avanzata fornisce protocolli per la manipolazione sicura dei nanomateriali in relazione ad aspetti quali ambiente, salute e sicurezza. Riporta una matrice di attività che presentano possibili pericoli legati alla manipolazione di varie forme fisiche di nanomateriali (polvere secca, dispersione di liquidi, matrice polimerica solida e matrice non polimerica).

- Il processo inizia con l'individuazione dei **pericoli potenziali**. Gli indicatori dei pericoli potenziali che dovrebbero essere presi in considerazione sono le caratteristiche fisicochimiche, tossicologiche ed ecotossicologiche (ad esempio, le dimensioni delle particelle, l'area superficiale, le proprietà chimiche della superficie, la reattività, la morfologia, la biopersistenza, le interazioni con le biomolecole e gli effetti antimicrobici, nonché le possibili modifiche dovute, ad esempio, all'invecchiamento del nanomateriale o alle interazioni con altre molecole). Si raccomanda inoltre il sistema di classificazione della BSI [31].
- La seconda fase consiste nella stima del potenziale di esposizione. Lo strumento fornisce informazioni sull'esposizione nelle varie fasi di manipolazione del nanomateriale.
- La terza fase del processo comporta la scelta dei controlli adeguati. Lo strumento fornisce informazioni sui controlli raccomandati per i vari compiti in cui i nanomateriali sono manipolati.

La sezione avanzata comprende anche un manuale di riferimento relativo alla salute e alla sicurezza sul lavoro per guidare l'utilizzatore nella valutazione e nella riduzione dei rischi derivanti dai nanomateriali.

2.4 Quadro comparativo degli strumenti descritti

Tabella 1: panoramica degli strumenti di gestione dei rischi disponibili e relative caratteristiche

Strumento di gestione dei rischi	Approccio di gestione dei rischi	Ambito di applicazione	Limiti
Stoffenmanager Nano (olandese, inglese, finlandese)	(1) Identificazione del nanomateriale ed elencazione delle proprietà dei nanomateriali (2) Descrizione dei processi (3) Descrizione dell'area di lavoro (4) Descrizione delle misure di controllo già applicate (5) Valutazione dei rischi	Nanomateriali di sintesi insolubili (in acqua) con una dimensione inferiore a 100 nm e un'area superficiale specifica maggiore di 60 m ² /g. Riguarda le nanoparticelle primarie, gli agglomerati e gli aggregati	(a) Se il nanomateriale appartiene alla classe più pericolosa (E), il rischio ha una priorità elevata a prescindere dall'esposizione, in quanto lo strumento è basato su un principio di precauzione per quanto riguarda i materiali più pericolosi

Strumento di gestione dei rischi	Approccio di gestione dei rischi	Ambito di applicazione	Limiti
	<p>risultante</p> <p>(6) Creazione di un piano d'azione con misure di controllo dei rischi</p>		<p>(b) Tutte le fibre sono collocate nella classe più pericolosa (E)</p> <p>(c) Raramente le misure di controllo scelte riducono il livello di rischio effettivo nello strumento</p>
<p>CB Nanotool 2.0 (inglese)</p>	<p>Tipico sistema di fasce di controllo con stima della fascia di pericolo (punteggio di gravità) e della fascia di esposizione (punteggio di probabilità) dell'attività utilizzato per stabilire il livello di rischio complessivo (quattro livelli). Il calcolo del punteggio di gravità è basato sulle caratteristiche del nanomateriale e del materiale su macroscale. Per ogni livello di rischio viene fornito un metodo di controllo raccomandato</p>	<p>Lavoro in laboratorio; situazioni in cui si utilizzano solo quantità limitate di nanomateriali</p>	<p>Raramente gli endpoint tossicologici rientranti nello strumento sono stati oggetto di studio; la fascia di esposizione riguarda unicamente alcuni determinanti</p>
<p>NanoSafer (danese)</p>	<p>(1) Identificazione delle proprietà del nanomateriale e del materiale su macroscale (dimensione, densità e area superficiale delle particelle), disponibilità di livelli di esposizione professionale per la polvere respirabile o minerale, indice di polverosità e informazioni tossicologiche riportate su scheda di dati di sicurezza</p> <p>(2) Identificazione del processo (manipolazione di polveri o emissione accidentale)</p> <p>(3) Determinazione del punteggio di valutazione</p>	<p>Luoghi di lavoro in cui i nanomateriali sono manipolati sotto forma di polvere ed emissioni accidentali</p>	<p>La valutazione dei pericoli è basata su parametri fisici e sulle schede di dati di sicurezza, che raramente forniscono informazioni tossicologiche relative ai nanomateriali; lo strumento riguarda unicamente i nanomateriali in polvere; disponibile solo in danese</p>

Strumento di gestione dei rischi	Approccio di gestione dei rischi	Ambito di applicazione	Limiti
	(4) Indicazioni riguardo alle misure di controllo		
Fasce di controllo dell'ANSES (francese, inglese)	<p>Sistema di fasce di controllo integrato a OHSAS 18001 (norma per i sistemi di gestione della salute e della sicurezza sul lavoro):</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Analisi delle informazioni disponibili (prodotto e luogo di lavoro) (2) Assegnazione di fasce di pericolo (3) Assegnazione del potenziale di emissione (4) Definizione di un piano d'azione (5) Attuazione del piano d'azione (6) Monitoraggio ordinario (7) Riesame periodico dei rischi (8) Indagine scientifica e tecnologica per aggiornare le conoscenze (9) Registrazione dei dati 	Tutti gli ambienti di lavoro	Potrebbe essere difficile raccogliere le informazioni necessarie per l'assegnazione delle fasce di pericolo (ad esempio, l'attività delle specie di ossigeno reattivo) Disponibile solo in versione cartacea
Guida al lavoro in sicurezza con i nanomateriali e i nanoprodotti (inglese)	<ol style="list-style-type: none"> (1) Effettuazione di un inventario dei nanomateriali prodotti o utilizzati (2) Classificazione dei possibili rischi per la salute derivanti da nanomateriali prodotti o utilizzati 	Per i datori di lavoro e i lavoratori che utilizzano nanomateriali	Disponibile solo in versione cartacea
	<ol style="list-style-type: none"> (3) Effettuazione di un inventario delle attività svolte con i nanomateriali (4) Classificazione della possibilità di esposizione dei lavoratori (5) Ottenimento della risultante fascia di controllo per ogni attività in cui sono implicati 		

Strumento di gestione dei rischi	Approccio di gestione dei rischi	Ambito di applicazione	Limiti
	nanomateriali (6) Definizione di un piano d'azione (7) Tenuta di un registro dei lavoratori che utilizzano nanomateriali (8) Valutazione della possibilità di una sorveglianza medica preventiva		
Foglio di lavoro con fasce di controllo del Queensland (inglese)	Parte con fasce di controllo simile a CB Nanotool, tuttavia include anche aspetti di infiammabilità	Come per CB Nanotool; prende in considerazione l'infiammabilità	Come per CB Nanotool. Il rischio di incendio e di esplosione non è pienamente definito. Disponibile soltanto in versione cartacea
GoodNanoGuide (inglese)	Vengono fornite indicazioni sulla base delle conoscenze dell'utilizzatore, che può essere principiante, intermedio o avanzato. Nella parte avanzata, il metodo di valutazione dei rischi consiste in (1) identificazione del potenziale di pericolo, (2) valutazione dell'esposizione e (3) raccomandazione dei controlli	Il metodo è molto generale e applicabile a diverse situazioni in cui i nanomateriali vengono manipolati	Molte pagine Internet dello strumento sono ancora incomplete. Gli orientamenti sono basati sulle normative statunitensi (ad esempio, quella relativa ai dispositivi di protezione personale)

3 Misure di prevenzione

Dopo aver effettuato una valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai nanomateriali, i datori di lavoro devono garantire che tale esposizione sia prevenuta o adeguatamente controllata.

3.1 Eliminazione e sostituzione

Come per tutte le altre sostanze pericolose, occorre attribuire la priorità all'eliminazione e alla sostituzione rispetto ad altre misure di prevenzione, al fine di evitare che tutti i lavoratori siano esposti ai nanomateriali. Tuttavia, nel caso in cui i nanomateriali fabbricati siano utilizzati o prodotti per proprietà specifiche che altri materiali meno pericolosi potrebbero non avere, l'eliminazione o la sostituzione di tali nanomateriali potrebbero non essere fattibili. Tuttavia, è necessario tenere sempre presente l'esigenza di un equilibrio tra le proprietà e gli effetti auspicati, da un lato, e i rischi per la salute, dall'altro lato, e valutare con molta attenzione l'eliminazione e la sostituzione.

In ogni caso, occorre evitare di utilizzare o di produrre nanomateriali in forme che possono disperdersi nell'aria (come le polveri), sostituendole con forme meno pericolose, come quelle solubilizzate o liquide, i granulati o le paste o i nanomateriali legati in solidi,

Inoltre, può essere possibile ridurre il potenziale di pericolo di un nanomateriale rivestendolo, ossia modificandone la superficie.

3.2 Misure tecniche

Alla fonte di emissione dovrebbero essere attuate misure tecniche di prevenzione, tra cui le più efficaci sono il contenimento alla fonte attraverso l'uso di sistemi chiusi e di macchine e processi ermetici, ossia con recinzioni e isolamenti che creino una barriera fisica tra una persona e il nanomateriale. Tuttavia, anche con l'attuazione di tali misure, è importante sottolineare che è comunque necessario tenere conto del rischio di perdite. I sistemi di ventilazione e scarico locale dotati di filtri per le particelle, come i filtri dell'aria ad alta efficienza per il particolato (HEPA) o i filtri dell'aria a bassissima penetrazione, integrati nelle cappe aspiranti o nelle cabine a flusso laminare, sono altre misure normalmente adottate per i processi che non possono essere pienamente confinati.

Sono necessarie disposizioni specifiche diverse dai controlli tecnici se i sistemi confinati vengono aperti, ad esempio per operazioni di carico e scarico, campionamento, pulizia o manutenzione. In tali situazioni l'uso di dispositivi di protezione delle vie respiratorie è considerato una valida strategia di controllo (cfr. la sezione 3.4.1).

3.3 Misure organizzative

La misura organizzativa più importante che può contribuire a diminuire il più possibile l'esposizione potenziale dei lavoratori è la segregazione delle aree di lavoro che consiste nel ridurre al minimo il numero di persone potenzialmente esposte. Le aree specifiche in cui i nanomateriali sono prodotti o utilizzati, e pertanto potrebbero esserci emissioni, dovrebbero essere designate e isolate o separate, dagli altri luoghi di lavoro, ad esempio, con pareti. Tali aree dovrebbero essere chiaramente contrassegnate con una segnaletica adeguata per indicare che l'accesso è consentito soltanto al personale autorizzato e qualificato.

È importante sottolineare che attualmente non esiste un criterio standardizzato per l'uso della segnaletica di sicurezza o per l'etichettatura dei luoghi di lavoro o dei contenitori con nanomateriali. Si raccomanda di adottare comportamenti adeguati in riferimento a frasi di rischio e di sicurezza (regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele [15]) e in presenza di cartelli di avvertimento che forniscono informazioni specifiche, adeguate e pertinenti sui rischi effettivi o potenziali per la salute e la sicurezza derivanti dall'uso e dalla manipolazione di nanomateriali.

Oltre a ridurre il numero dei lavoratori esposti ai nanomateriali, è importante anche attuare le seguenti misure organizzative:

- ridurre al minimo il tempo di esposizione potenziale dei lavoratori;
- ridurre al minimo la quantità di nanomateriale particolato in uso in qualsiasi momento;
- controllare i livelli di concentrazione nell'aria;
- pulire regolarmente (con panno umido) le aree di lavoro;
- i lavoratori che manipolano nanomateriali potenzialmente pericolosi dovrebbero essere inclusi in programmi di sorveglianza sanitaria, documentando in modo approfondito la situazione di esposizione.

Inoltre, tutti i lavoratori che possono essere esposti ai nanomateriali sul luogo di lavoro dovrebbero ricevere istruzioni, informazioni e una formazione sufficienti per comprendere i rischi per la salute e la sicurezza dovuti all'esposizione potenziale ai nanomateriali e le precauzioni da prendere per evitare tale esposizione o ridurla al minimo. In caso d'incertezze riguardo agli effetti di questi nanomateriali sulla salute e sulla sicurezza, i lavoratori dovrebbero anche esserne informati e dovrebbe essere applicato il principio precauzionale.

3.4 Dispositivi di protezione personale

Secondo la gerarchia delle misure di controllo, i dispositivi di protezione personale (DPI) dovrebbero essere usati soltanto in caso di assoluta necessità. Se nella valutazione dei rischi i DPI ⁽³⁾ sono ritenuti necessari, deve essere definito un programma riguardo a tali dispositivi [32], che per essere valido dovrebbe consistere nei seguenti elementi: scelta dei DPI appropriati, installazione dei DPI, formazione e manutenzione.

Occorre valutare le caratteristiche fisiche individuali per la scelta e l'utilizzo dei DPI, al fine di garantire la massima efficacia di sicurezza e comfort da parte degli utilizzatori. Potrebbero essere effettuate prove per garantire che i DPI non impediscano ai lavoratori di svolgere il proprio compito in sicurezza e di utilizzare ulteriori dispositivi di protezione o strumenti, ad esempio gli occhiali. Si tenga presente che il livello di protezione di un DPI si potrebbe ridurre quando si utilizzano vari tipi di DPI contemporaneamente. Anche altri pericoli, come i vapori dei solventi, possono contribuire a ridurre l'efficacia dei DPI. Pertanto, nel processo di valutazione dei rischi e quando si selezionano i DPI, devono essere presi in considerazione tutti i pericoli oltre ai nanomateriali. Tutti i DPI devono avere il marchio CE ed essere utilizzati conformemente alle istruzioni del produttore, senza modifiche.

3.4.1 Protezione delle vie respiratorie

Se le misure menzionate in precedenza non sono adeguate per controllare l'esposizione ai nanomateriali dispersi nell'aria (ad esempio, le nanopolveri o gli aerosol contenenti nanomateriali), o non riducono l'esposizione in misura sufficiente, si raccomanda di utilizzare dispositivi di protezione delle vie respiratorie (DPVR) per tali esposizioni. Questo dovrebbe essere necessario nel caso in cui i sistemi di controllo sono in fase di manutenzione o di riparazione.

La scelta di un DPVR dipende da quanto segue:

- tipo, dimensioni e concentrazione del nanomateriale disperso nell'aria;
- fattore di protezione assegnato per il DPVR (che integra l'efficacia dei filtri e l'aderenza al volto);
- condizioni di lavoro.

I DPRV scelti potrebbero essere semimaschere o maschere intere con filtri P3/FFP3 o P2/FFP2, dispositivi per filtrare le particelle con autoventilazione ed elmetto (TH2P o MH3P) o dispositivi di filtraggio di particelle con autoventilazione e semimaschera o maschera intera (TM2P e TM3P) ⁽⁴⁾. Le maschere intere in combinazione con gli autorespiratori ad aria compressa a circuito chiuso e gli elettrorespiratori a filtro hanno di norma fattori di protezione più elevati.

Occorre verificare con il produttore dei DPI l'efficacia dei filtri nei dispositivi di protezione delle vie respiratorie per un nanomateriale specifico in condizioni specifiche, in quanto i risultati delle prove non possono essere generalizzati a tutti i nanomateriali. È opportuno sottolineare che i filtri dell'aria ad alta efficienza per il particolato, le cartucce filtranti dei respiratori e le maschere con materiali filtranti fibrosi sono efficaci per i nanomateriali (addirittura più efficaci che per le particelle di dimensioni maggiori [34]).

La riduzione dell'esposizione può dipendere anche da altri fattori, come l'aderenza al volto, un'adeguata manutenzione dei DPRV e la durata di utilizzo. Per le maschere facciali, i rischi principali derivano da un'aderenza insufficiente tra la maschera e il volto [34]. Devono essere previste prove regolari dell'aderenza delle maschere per tutti gli utilizzatori per garantire che siano a tenuta ermetica e gli utilizzatori devono ricevere una formazione riguardo all'uso dei PDVR. La riduzione dell'esposizione dovrebbe essere sempre considerata il risultato di una combinazione dell'efficacia del filtro e delle caratteristiche di utilizzo del respiratore, che in alcuni Stati membri dell'Unione europea è espressa dai cosiddetti fattori respiratori.

Nei casi in cui i dispositivi di protezione delle vie respiratorie non coprano gli occhi, si deve utilizzare anche una protezione specifica (occhiali di sicurezza ermetici).

⁽³⁾ La direttiva 89/686/CEE [32] disciplina la progettazione e l'uso dei DPI e garantisce che adempiano alla funzione prevista di proteggere i lavoratori da rischi specifici.

⁽⁴⁾ Cfr. [33]: la penetrazione dei filtri P2 è pari allo 0,2% e dei filtri P3 allo 0,011% delle particelle per le nanoparticelle di cloruro di potassio. Dalle prove effettuate con particelle di grafite di varie dimensioni è risultata una penetrazione massima dell'8%. Il livello di protezione è maggiore per i filtri P3, tuttavia i risultati non possono essere generalizzati a tutte le nanoparticelle.

3.4.2 Guanti

I guanti devono avere un'elevata durata meccanica e devono essere utilizzati unicamente i guanti conformi ai requisiti della norma EN 374 ai fini della protezione contro i pericoli chimici in generale. È stato constatato che i guanti in lattice, nitrile o neoprene sono efficaci quando si manipolano i nanomateriali [33]. L'efficacia dei guanti per un nanomateriale specifico dipende dalla forma fisica del nanomateriale presente sul luogo di lavoro (polveri, liquidi, ecc.); questa condizione dovrebbe essere verificata e confermata dai fornitori dei guanti. Lo spessore del materiale dei guanti è uno dei fattori più importanti per determinare il tasso di diffusione del nanomateriale; si raccomanda pertanto anche di utilizzare due paia di guanti contemporaneamente per garantire una protezione adeguata [34].

3.4.3 Indumenti di protezione

Gli indumenti di protezione devono essere scelti sulla base della valutazione dei rischi. I tessuti non tessuti (materiali ermetici) come il polietilene ad alta densità (tessuto a bassa ritenzione di polvere e bassa emissione di polvere) sono da preferire rispetto a quelli tessuti. Si raccomanda di evitare l'uso di indumenti di protezione in cotone [34].

In caso di indumenti di protezione riutilizzabili come le tute, se ne deve prevedere un lavaggio regolare per prevenire l'esposizione secondaria [35]. Le tute e i camici di protezione puliti devono essere indossati e quelli sporchi tolti in modo tale da evitare la contaminazione delle persone o del luogo di lavoro in generale.

3.5 Prevenzione di esplosioni e/o incendi

A causa delle dimensioni ridotte e dell'ampia area superficiale, i nanomateriali particolati in polvere possono presentare un rischio di esplosione, sebbene altrettanto non valga per i rispettivi materiali di maggiori dimensioni ⁽⁵⁾ [36]. Occorre prestare particolare attenzione quando si manipolano o si generano nanopolveri, anche durante la molatura, la sabbiatura e la lucidatura di materiali contenenti nanomateriali.

Le misure di protezione per i nanomateriali in polvere sono essenzialmente identiche a quelle previste per gli altri materiali esplosivi o infiammabili di maggiori dimensioni e per le nuvole di polvere esplosive, e devono essere conformi alle disposizioni della direttiva 99/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive. Queste comprendono quanto segue:

- la manipolazione dovrebbe essere limitata per quanto possibile a specifiche zone esplosive ed eseguita in atmosfere inerti;
- i materiali dovrebbero essere solubilizzati inumidendo il luogo di lavoro (prevenzione delle polveri);
- dal luogo di lavoro dovrebbero essere rimosse le apparecchiature con accensione a scintilla e altre fonti di accensione e dovrebbero essere eliminate le condizioni che favoriscono le scariche elettrostatiche; ove possibile, dovrebbero invece essere utilizzate apparecchiature a sicurezza intrinseca (circuiti di segnalazione e di controllo che funzionano con correnti e tensioni basse);
- gli strati di polvere devono essere rimossi con un panno umido;
- dovrebbe essere ridotto al minimo lo stoccaggio di materiali esplosivi o infiammabili nei luoghi di lavoro; possono essere utilizzate buste antistatiche.

Se durante le attività di lavoro si utilizzano nanomateriali naturali anziché nanomateriali di sintesi, devono essere prese in considerazione le raccomandazioni del produttore riportate nelle schede di dati di sicurezza, tenendo tuttavia presenti le osservazioni generali espresse in precedenza riguardo alla qualità di tali schede in relazione ai nanomateriali.

⁽⁵⁾ L'esplosività della maggior parte delle polveri organiche e di molte polveri metalliche aumenta al diminuire delle dimensioni delle particelle. 500 µm sembra essere il limite massimo delle dimensioni delle particelle di una nuvola di polvere esplosiva. Attualmente non è stato stabilito alcun limite al di sotto del quale possono essere escluse esplosioni di polveri.

3.6 Verifica dell'efficacia delle misure di prevenzione

Occorre riesaminare regolarmente la valutazione dei rischi e controllare e verificare regolarmente la scelta e l'attuazione delle misure di gestione per accertarne l'efficacia. In questo modo si garantisce il corretto funzionamento di tutti i dispositivi di protezione, come banchi da lavoro e cabine a flusso laminare puliti, e un'ispezione regolare di tutte le apparecchiature di ventilazione e dei rispettivi sistemi filtranti. Inoltre, occorre verificare e aggiornare l'idoneità dei DPI, se necessario.

L'efficacia di una misura di riduzione dei rischi può essere valutata analizzando la concentrazione dei nanomateriali nell'aria prima e dopo l'applicazione della misura di prevenzione. I livelli di esposizione misurati quando si applicano le misure di gestione dei rischi non dovrebbero essere significativamente diversi dai livelli di fondo ambientale naturale, nel caso in cui non vi siano fonti di nanomateriali di sintesi. Si possono applicare anche altre misurazioni indirette dell'efficacia delle misure di prevenzione tecniche, come le prove di fumo e/o le misurazioni della velocità dei controlli.

In futuro possono essere stabiliti valori per il livello di esposizione professionale; tuttavia, la riduzione al minimo dell'esposizione dovrebbe essere l'obiettivo primario della gestione dei rischi sul luogo di lavoro, per cui non è sufficiente rispettare i livelli di esposizione professionale. Attualmente è possibile scegliere tra vari metodi per definire livelli di riferimento per i nanomateriali [37, 38].

Riferimenti

1. Commissione europea (CE), raccomandazione della Commissione del 18 ottobre 2011 sulla definizione di nanomateriale, GU L 275, pagg. 38-40, 2011. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:IT:PDF>.
2. Commissione europea (CE), documento di lavoro dei servizi della Commissione relativo alle tipologie, agli usi e agli aspetti relativi alla sicurezza dei nanomateriali, che accompagna la comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio e al Comitato economico e sociale europeo sul secondo esame regolamentare relativo ai nanomateriali, SWD(2012) 288 final, Bruxelles, 3 ottobre 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
3. Agenzia europea per la salute e la sicurezza sul lavoro (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles, European Risk Observatory, literature review* (Esposizione del luogo di lavoro alle nanoparticelle, Osservatorio europeo dei rischi, rassegna della letteratura), 2009. Disponibile all'indirizzo: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles
4. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, relazione dell'Allianz Center for Technology e dell'OCSE. Disponibile all'indirizzo: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
5. Murashov, V., *Occupational exposure to nanomedical applications*, WIREs Nanomed Nanobiotechnol, 2009, 1: pagg. 203-213.
6. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, U.S. Environmental Protection Agency, relazione n. 12-P-0162, 2011. Disponibile all'indirizzo: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
7. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology—Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, pubblicazione n. 2009-125, 2009.
8. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., *Penetration of quantum dot particles through human skin*, Journal of Biomedical Nanotechnology, 2010, 6(5): pagg. 586-595.
9. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, pubblicazione n. 2012-147, 2012.

10. Senjen, R., *Nanomaterials Health and Environmental Concerns*, Ufficio europeo dell'ambiente, 2009. Disponibile all'indirizzo: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
11. Direttiva 89/391/CEE del Consiglio del 12 giugno 1989 concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro, GU L 183 del 29/6/1989. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:IT:PDF>
12. Direttiva 98/24/CE del Consiglio del 7 aprile 1998 sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro (quattordicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE). Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:IT:PDF>
13. Direttiva 2004/37/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro (sesta direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE del Consiglio). Disponibile all'indirizzo: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):IT:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):IT:NOT)
14. Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 dicembre 2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche, che modifica la direttiva 1999/45/CE e che abroga il regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1488/94 della Commissione, nonché la direttiva 76/769/CEE del Consiglio e le direttive della Commissione 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE, GU L 396 del 30/12/2006. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:it:NOT>
15. Regolamento (CE) n. 1272/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele (regolamento CLP), GU L 353 del 31/12/2008. Disponibile all'indirizzo: <http://echa.europa.eu/it/web/guest/regulations/clp/legislation>
16. Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., *Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles*, TemaNord, 2007: 581, Consiglio nordico dei ministri, Copenaghen, 2007. Disponibile all'indirizzo: http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile
17. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, 2008. Disponibile all'indirizzo: <http://www.nano4all.nl/Reporsortsummary.pdf>
18. Austrian Central Labour Inspectorate (ACLI), *Use of Nano at the Workplace*, 2009. Disponibile all'indirizzo: [http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano Untersuchung.pdf3C](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano%20Untersuchung.pdf3C)
19. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials*. Disponibile all'indirizzo: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>
20. Regolamento (UE) n. 453/2010 della Commissione del 20 maggio 2010 recante modifica del regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), GU L 133 del 31/5/2010.
21. Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA), Orientamenti sulla compilazione delle schede di dati di sicurezza, dicembre 2011. Disponibile all'indirizzo: http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_it.pdf
22. Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), *Emission assessment for the identification of sources and release of airborne manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance*, ENV/JM/MONO, serie sulla sicurezza dei nanomateriali di sintesi, numero 11, 2009.
23. Van Duuren-Stuurman, B., Vink, R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A., Brouwer, D. H.,

- Kroese, D. E. D., Van niftrik, M. F. J., Tielemans, E., Fransman, W., *Stoffenmanager Nano Version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects*, Ann Occup Hyg, 2012, 56(5): pagg. 525-541.
24. Paik, S.Y., Zalk, D.M., Swuste, P., *Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures*, Ann Occup Hyg, 2008, 52(6): pagg. 419-428.
 25. Zalk, D.M., Paik, S.Y., Swuste, P., *Evaluating the control banding nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures*, J Nanoparti Res, 2009, 11(7): pagg. 1685-1704.
 26. Zalk, D.M., Paik, S.Y., *Control banding and nanotechnology*, The Synergist, 2010, 3(10): pagg. 2629.
 27. Teknologisk Institut, *Nanopartikler i arbejdsmiljøet - Viden og inspiration om håndtering af nanomaterialer*, Center for Arbejdsliv/Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, 2010.
 28. ANSES, *Development of a Specific Control Banding Tool for Nanomaterials*, relazione, 2010. Disponibile all'indirizzo: <http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0407EN.pdf> (consultato il 26 giugno 2012).
 29. FNV, VNO-NCV, CNV, *Guidance Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts-The Guide for Employers and Employees*, versione 1.0, 2011. Disponibile all'indirizzo: <http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>
 30. International Council on Nanotechnology (ICON), *GoodNanoGuide*, 2010. Disponibile all'indirizzo: <http://www.goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=HomePage>
 31. British Standards (BSI), *Nanotechnologies -Part 2: Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials*, PD 6699-2:2007.
 32. Direttiva 89/656/CEE del 30 novembre 1989 relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e salute per l'uso da parte dei lavoratori di attrezzature di protezione individuale durante il lavoro (terza direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE). Disponibile all'indirizzo: <https://osha.europa.eu/it/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>
 33. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, *Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche - Ein Betriebsleitfaden*, Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, Band 11, 2009. Disponibile all'indirizzo: http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_sichere_Verwendung_Nanomaterialien_Lack_Farbenbranche.pdf
 34. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Disponibile all'indirizzo: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf
 35. UK NanoSafety Partnership Group (UKNSPG), *Working Safely with Nanomaterials in Research & Development*, agosto 2012. Disponibile all'indirizzo: [http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working_Safely_with_Nanomaterials_s_-_Release_1,0,-_Aug2012.pdf](http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working_Safely_with_Nanomaterials_-_Release_1,0,-_Aug2012.pdf)
 36. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Explosion Protection: Need for Action for Nano Dusts)*, senza data. Disponibile all'indirizzo: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (consultato il 3 dicembre 2012).
 37. The Social and Economic Council of the Netherlands (SERj), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, 2012. Disponibile all'indirizzo: http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx (consultato il 20 ottobre 2012).
 38. Nanowerk, *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*, 2012. Disponibile all'indirizzo: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php>