



## Salute e sicurezza negli ambienti di lavoro **IN PRESENZA DI SOSTANZE PERICOLOSE**



# Nanomateriali fabbricati sul luogo di lavoro

## Punti salienti

- I nanomateriali fabbricati sono materiali in cui almeno il 50 % delle particelle ha una o più dimensioni comprese fra 1 e 100 nm. Le nanoparticelle più piccole sono confrontabili in termini di dimensioni agli atomi e alle molecole.
- Gli effetti dei nanomateriali sulla salute dipendono dalle loro proprietà, ad esempio il materiale che li costituisce, le dimensioni, la forma e la solubilità delle particelle e le proprietà superficiali. In generale i nanomateriali hanno i medesimi effetti sulla salute delle particelle più grosse dello stesso materiale. Tuttavia possono verificarsi anche altri effetti. Le principali vie di esposizione ai nanomateriali sono l'inalazione e l'esposizione cutanea.
- L'esposizione ai nanomateriali deve essere gestita e mantenuta ben al di sotto dei valori limite di esposizione per il materiale sfuso (che consiste di particelle più grandi, ma che può anche contenere nanoparticelle), applicando il principio di precauzione.
- Nei processi industriali è vantaggioso poter trattare i nanomateriali, ad esempio, sotto forma di liquame o pasta oppure conservarli in spazi ristretti per ridurre le emissioni e l'esposizione dei lavoratori. In situazioni più complesse si raccomanda di ricorrere all'assistenza di esperti.
- Le nanotecnologie sono in rapida evoluzione, così come le conoscenze in merito ai rischi esistenti. Pertanto i lavoratori, i datori di lavoro e i professionisti in ambito di salute e sicurezza che si occupano di nanoparticelle sul luogo di lavoro devono tenersi aggiornati sugli sviluppi.

## Salute e sicurezza negli ambienti di lavoro in presenza di sostanze pericolose

Nel 2018 e 2019 l'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (EU-OSHA) condurrà una campagna a livello europeo per promuovere la prevenzione dei rischi associati alle sostanze pericolose sul luogo di lavoro. Lo scopo è ridurre la presenza di sostanze pericolose e l'esposizione alle stesse in ambito professionale attraverso un'opera di sensibilizzazione sui rischi e sulle modalità efficaci per prevenirli.

## Il problema

A causa delle loro proprietà i nanomateriali possono avere un'ampia gamma di effetti potenzialmente tossici. È stato dimostrato che alcuni nanomateriali fabbricati, seppur non tutti, comportano maggiori rischi per la salute rispetto agli stessi materiali sfusi. Ad esempio, è stato provato che il diossido di titanio ultrasottile (che può includere nanoparticelle) ha effetti più importanti rispetto alle particelle di diossido di titanio fini più grosse. I nanotubi di carbonio a parete multipla del tipo MWCNT-7 sono stati classificati come possibili cancerogeni per gli esseri umani a differenza di altre particelle di carbonio. La classificazione cambia a seconda dei diversi tipi di nanotubi di carbonio.

### Direttive e regolamenti UE in materia di salute e sicurezza sul luogo di lavoro con riferimento ai nanomateriali

Le direttive e i regolamenti che riguardano le sostanze chimiche contemplano i nanomateriali, ad esempio:

**direttiva 89/391/CEE (direttiva quadro), del 12 giugno 1989, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro;**

**direttiva 98/24/CE (direttiva sugli agenti chimici), del 7 aprile 1998, sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro;**

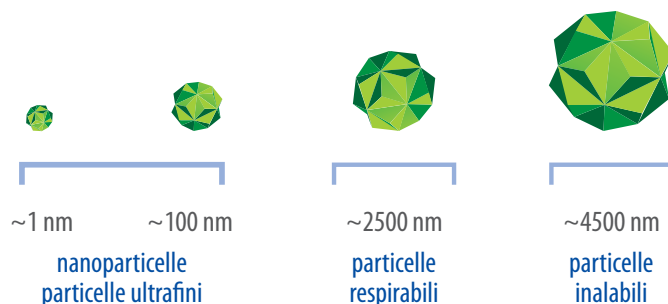
**direttiva 2004/37/CE (direttiva sugli agenti cancerogeni e mutageni), del 29 aprile 2004, sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro;**

**regolamento (CE) n. 1907/2006 (regolamento REACH), del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche;**

**regolamento (CE) n. 1272/2008 (regolamento CLP), del 16 dicembre 2008, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele**

Occorre consultare le leggi nazionali, che possono prevedere disposizioni più severe rispetto a quelle delle direttive e dei regolamenti.

## Che cosa sono i nanomateriali fabbricati?



I nanomateriali fabbricati sono materiali in cui almeno il 50 % delle particelle ha una o più dimensioni comprese fra 1 e 100 nm. Le nanoparticelle più piccole sono confrontabili in termini di dimensioni agli atomi e alle molecole.

Le particelle di questo intervallo di grandezza possono presentare proprietà diverse rispetto alle particelle più grosse dello stesso materiale. Tali proprietà derivano dalle loro dimensioni ridotte, ma anche dalla superficie relativamente grande, oltre che da forma, solubilità, composizione chimica, funzionalizzazione e trattamento della superficie. Grazie a queste proprietà i nanomateriali sono diventati sempre più interessanti per la scienza e sono utilizzati per lo sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie.

Di seguito alcuni esempi di nanomateriali.

- Il nano-biossido di titanio è utilizzato come dispositivo assorbente di raggi ultravioletti, ad esempio in cosmetici, vernici e rivestimenti sul vetro di finestre.
- Il grafene è uno strato monoatomico di carbonio sottile ed estremamente forte con un'ottima conduttività e un grande potenziale in diversi settori industriali, in particolare l'elettronica.
- I nanotubi di carbonio hanno proprietà interessanti per l'industria elettronica. Sono inoltre usati per rinforzare vari tipi di materiali, ad esempio nell'industria delle costruzioni, e sono utilizzati negli schermi dei computer a diodi organici a emissione di luce (OLED).
- Il nanoargento è utilizzato, ad esempio, nei campi della medicina, della cosmetica e dell'alimentazione oltre che come antisettico in molte applicazioni, quali vernici e rivestimenti, abiti, calzature e prodotti per la casa.
- I punti quantici sono semiconduttori di particolare interesse in diverse applicazioni, ad esempio l'immaginografia medica, la diagnostica e i prodotti elettronici.

Nel settore della medicina i nanomateriali hanno suscitato interesse, ad esempio, per il loro potenziale come mezzo per somministrare i medicinali agli organi bersaglio e ai fini dell'immaginografia (come nel caso delle nanoparticelle magnetiche di ossido ferrico). Nanomateriali con nuove proprietà sono sviluppati applicando diversi tipi di rivestimenti alla superficie di nanoparticelle.

## Interventi necessari nell'ambito della legislazione in materia di salute e sicurezza

I requisiti per gestire i nanomateriali sul luogo di lavoro sono uguali a quelli applicati alla gestione di altre sostanze chimiche pericolose, comprese le attività di informazione e formazione per i lavoratori, la realizzazione di valutazioni dei rischi e l'adozione di interventi atti a garantire la sicurezza sul lavoro. Tuttavia i prerequisiti per soddisfare tali esigenze in relazione alle nanoparticelle sono diversi da quelli relativi alla maggior parte delle altre sostanze chimiche. La conoscenza dei rischi associati ai nanomateriali è tuttora limitata e non esistono (ancora) limiti di esposizione professionale per i nanomateriali, sebbene si siano proposti valori di riferimento. Pertanto è necessario applicare il principio di precauzione per mantenere l'esposizione a un livello in cui si prevede che il rischio possa essere sotto controllo anche nel caso in cui il nanomateriale risultasse più pericoloso rispetto a quanto lo si consideri al momento.

La presente scheda informativa fornisce consigli pratici generali su come applicare il principio di precauzione nella gestione dei nanomateriali. Per ulteriori informazioni, si prega di consultare l'articolo di OSHwiki sui nanomateriali (in inglese).

<https://oshwiki.eu/wiki/Nanomaterials>

## Rischi dei nanomateriali per la salute

I rischi per la salute variano a seconda della composizione del nanomateriale. In generale i nanomateriali hanno i medesimi effetti sulla salute delle particelle più grosse degli stessi materiali. Tuttavia possono verificarsi anche altri effetti. I nanomateriali che entrano nell'organismo possono (come altre sostanze) essere assorbiti, distribuiti e metabolizzati. Si è rilevata la presenza di

nanomateriali, ad esempio, nei polmoni, nel fegato, nei reni, nel cuore, negli organi riproduttivi, nel cervello, nella milza, nello scheletro e nei tessuti molli, nonché nei feti.

I meccanismi alla base dei rischi per la salute non sono ancora pienamente compresi, ma alcuni sono stati individuati.

- Taluni nanomateriali possono provocare vari tipi di lesioni polmonari, quali reazioni infiammatorie acute o croniche, il cui rischio sembra aumentare con la diminuzione delle dimensioni delle particelle, nonché danni ai tessuti, stress ossidativo, tossicità cronica, citotossicità, fibrosi e tumori. Alcuni nanomateriali possono anche colpire il sistema cardiovascolare.
- Grazie alle dimensioni ridotte i nanomateriali possono penetrare nell'organismo in un modo che non è possibile alle particelle più grosse. Ad esempio, è stato dimostrato che i metalli e gli ossidi di metalli entrano nel bulbo olfattivo tramite il nervo olfattivo e che i nanotubi di carbonio attraversano la placenta e penetrano nel feto.
- Le nanofibre fibrose, lunghe, sottili e insolubili quali i nanotubi di carbonio possono provocare lesioni polmonari come infiammazione, formazione di granulomi e fibrosi. Questi tipi di effetti non sono stati rilevati nei topi esposti al nerofumo (lo stesso materiale, ma sotto forma di nanoparticelle invece che di nanofibre). Ciò ha portato a concludere che perlomeno alcuni tipi di nanotubi di carbonio possono provocare effetti sulla salute simili a quelli causati dall'amianto. Il Centro internazionale di ricerca sul cancro (IARC) ha classificato i nanotubi di carbonio MWCNT-7 come possibili cancerogeni per gli esseri umani (gruppo 2B). Tuttavia è stato anche dimostrato che non tutti i nanotubi di carbonio hanno gli stessi effetti sulla salute. Per le loro proprietà superficiali alcuni nanotubi di carbonio non provocano granulomi o fibrosi. Inoltre è stato provato che, in particolari condizioni, i nanotubi di carbonio possono essere metabolizzati ed escreti.

L'elevata esplosività, infiammabilità e potenzialità catalitica di alcuni nanomateriali in polvere possono comportare ulteriori rischi per la

//  
*I nanomateriali fabbricati  
comportano maggiori  
rischi per la salute rispetto  
agli stessi materiali sfusi*

sicurezza; in particolare, le nanopolveri metalliche, quali polveri su scala microscopica, tendono a esplodere più violentemente e la loro sensibilità all'accensione tende ad aumentare più le particelle sono fini. Anche la temperatura di autoaccensione diminuisce quando le particelle sono più fini.

I nanomateriali tendono ad agglomerarsi (formano aggregati connessi liberamente). L'agglomerazione determina un aumento delle dimensioni, ma non incide significativamente sulla superficie totale. Si presume che la superficie sia correlata agli effetti sulla salute, almeno per alcuni tipi di nanoparticelle. Non è chiaro se e in quale modo l'agglomerazione incida sui rischi per la salute causati dai nanomateriali.

Sebbene siano stati messi in luce alcuni meccanismi, vi è ancora un'enorme esigenza di comprendere meglio quando e perché i nanomateriali influiscono sulla salute. Nel frattempo è necessario tenere conto delle prove indicanti che almeno alcuni nanomateriali sono più nocivi rispetto alle particelle più grosse degli stessi materiali e adottare precauzioni.

Gli studi sul modo in cui i nanomateriali possono incidere sulla salute sono numerosi, ma riguardano soprattutto colture cellulari e animali da laboratorio. I riscontri relativi alle ripercussioni sulla salute umana dell'esposizione a nanomateriali fabbricati sono scarsi. Tuttavia varie prove indicano che l'esposizione a contaminanti atmosferici contenenti nanoparticelle formate naturalmente, ad esempio fumi di saldatura, scarico dei motori diesel e altri tipi di fumi, può essere nociva in diversi modi. Non sono disponibili però conoscenze sufficienti sulla possibilità che gli effetti sulla salute siano causati dalle nanoparticelle o da altri contaminanti atmosferici coesistenti.

## Esposizione e vie di esposizione

I rischi per la salute possono dar luogo a disturbi o malattie che si manifestano solo in seguito all'esposizione ai nanomateriali. Le principali vie di esposizione ai nanomateriali sono l'inalazione e l'esposizione cutanea, ma può verificarsi anche l'ingestione.

L'esposizione ai nanomateriali fabbricati può avvenire durante qualsiasi fase del ciclo di vita dei nanomateriali, come la produzione dei nanomateriali o dei prodotti nanotecnologici, l'uso (vita utile) dei prodotti nanotecnologici o il riciclaggio di fine vita, la trasformazione e lo smaltimento dei prodotti nanotecnologici.

### Inalazione

Se un nanomateriale allo stato secco viene movimentato manualmente all'aperto, ad esempio versato da un sacco, caricato in o scaricato da un contenitore o sparso accidentalmente, esiste un rischio elevato di esposizione. Anche quando i nanomateriali sono movimentati in sistemi chiusi, può comunque verificarsi un'esposizione in seguito a incidenti o perdite. L'esposizione può avvenire anche durante il trattamento di rifiuti che contengono nanomateriali.

Molti nanomateriali sono gestiti come liquami, pasta o granuli oppure come parte integrante di un materiale solido. Pur essendo limitata, l'esposizione per inalazione può verificarsi, ad esempio, quando i liquami sono trattati in modo tale da provocare la formazione di aerosol, ovvero spruzzati o aspersi, o se i granuli sono frantumati in particelle più piccole ed emettono nanoparticelle. Può verificarsi esposizione anche quando i liquami o la pasta si essicano, lasciando il nanomateriale allo stato secco, che può essere disperso ed emesso nell'aria circostante. Anche quando il nanomateriale viene gestito come

*L'esposizione ai nanomateriali deve essere gestita*

un liquame può verificarsi l'esposizione, ad esempio durante la pulizia o la manutenzione.

### Cute

L'esposizione ai nanomateriali può verificarsi attraverso la cute. Per alcuni nanomateriali, che sono ingredienti di cosmetici destinati all'applicazione cutanea, questa è una via comune. Al momento si ritiene che l'assorbimento dei nanomateriali per via cutanea sia meno probabile rispetto all'inalazione. Tuttavia, lesioni cutanee dovute, ad esempio, a ferite o eczemi possono consentire il passaggio di quantità molto piccole di nanomateriali. Sebbene attualmente tale rischio si consideri trascurabile o molto basso, si dovrebbe evitare l'esposizione cutanea in via precauzionale, impedendo in questo modo anche l'ingestione accidentale e l'esposizione a sostanze che possono essere assorbite attraverso la cute, non ancora riconosciute.

### Ingestione

L'ingestione è meno probabile sul luogo di lavoro. Nondimeno una scarsa igiene può provocare l'esposizione, ad esempio se i lavoratori non si puliscono le mani o non si cambiano i vestiti dopo aver lavorato con i nanomateriali e poi prendono alimenti o bevande con le mani contaminate o diffondono le nanoparticelle in forma di polvere in un ambiente dove si consumano alimenti o bevande. L'esposizione può anche avvenire accidentalmente, ad esempio attraverso il trasferimento dalla mano alla bocca.

Al di fuori del contesto lavorativo i nanomateriali possono essere ingeriti con gli alimenti, dato che l'imballaggio può contenere intenzionalmente nanomateriali. Come per i nanomateriali in generale, l'impatto sulla salute dipende dalla loro composizione. Uno studio recente ha mostrato che l'ingestione di nanoparticelle d'argento non ha causato effetti clinicamente osservabili in 60 persone sottoposte all'esperimento.

## Valutazione dei rischi

In linea di principio, si può ritenere che tutte le attività che comportano la movimentazione di nanomateriali allo stato secco al di fuori di impianti chiusi possano essere associate a un rischio di esposizione per i lavoratori. Tuttavia l'esposizione è possibile anche qualora si utilizzino impianti chiusi, ad esempio in caso di perdite o durante le attività di pulizia e manutenzione. Tale esposizione dovrebbe essere presa in considerazione nelle valutazioni dei rischi e andrebbero attuate misure preventive. Poiché i nanomateriali sono costituiti da particelle estremamente piccole, le nanoparticelle non sono altrettanto visibili come altri tipi di polvere. Le valutazioni dei rischi devono tener conto anche di questo aspetto.

I rischi variano a seconda del tipo di nanomateriale. Si ritiene che i rischi maggiori siano rappresentati dall'esposizione alle nanofibre insolubili o scarsamente solubili più lunghe di 5 µm e con un rapporto lunghezza/larghezza (rapporto d'aspetto) maggiore di 3:1. I rischi sono inoltre elevati per quanto riguarda altre nanofibre e nanopiastrine insolubili o scarsamente solubili (ad esempio nei fogli nano-sottili come il grafene). Si ritiene che l'esposizione ai nanomateriali solubili in acqua sia meno rischiosa.

I rischi sono spesso valutati in base alle misurazioni dell'esposizione. Tali misurazioni, pur essendo possibili, non sono immediate né semplici e richiedono sofisticati strumenti a lettura diretta. Le misurazioni delle nanoparticelle aerodiffuse sono per lo più effettuate nell'ambito della ricerca. È stata sviluppata una strategia di misurazione che coniuga le misurazioni effettuate utilizzando vari tipi di strumenti a lettura diretta per le diverse frazioni di particelle con quelle effettuate utilizzando la conta su filtro e le analisi che impiegano il microscopio elettronico a scansione (SEM). Tuttavia, quando si analizzano i filtri, vi è il rischio che molte particelle possano essere catturate nei pori e quindi non siano visibili con un SEM. Inoltre gli strumenti a lettura diretta presentano limiti; ad esempio analizzano particelle di diverse dimensioni, ma non i materiali che le compongono. In aggiunta non vi è consenso su quale variabile abbia la maggiore pertinenza in termini di incidenza dei nanomateriali sulla salute. Non esiste uno standard relativamente a quale parametro, ad esempio la concentrazione della massa, la concentrazione del numero o la superficie del nanomateriale aerodiffuso, debba essere misurato per valutare gli effetti sulla salute. Il parametro più pertinente potrebbe dipendere dal tipo di nanomateriale e dall'effetto sulla salute.

Gli strumenti a lettura diretta misurano la presenza di particelle, indipendentemente dal materiale nella particella. Questi strumenti sono sensibili alle interferenze delle nanoparticelle diverse dalle nanoparticelle fabbricate di interesse. Ad esempio, la misurazione delle nanoparticelle può essere influenzata dalla presenza di nanoparticelle nei fumi di scarico derivanti da vari tipi di combustione, quali il fumo delle sigarette e i fumi della saldatura, brasatura e termosaldatura. Possono essere rilasciate nanoparticelle mentre una candela brucia, quando si pelano gli agrumi e quando si condensa il vapore acqueo.

In sintesi, quando si effettua una valutazione dei rischi associati ai nanomateriali sul luogo di lavoro, sussistono delle difficoltà relative a:

1. informazioni insufficienti sulle proprietà pericolose dei nanomateriali;
2. limiti nei metodi e negli strumenti che possono essere usati per misurare i livelli di esposizione e individuare i nanomateriali e le fonti di emissione.



Inoltre, potrebbe sussistere una mancanza di informazioni sulla presenza di nanomateriali, in particolare nelle miscele o negli articoli, e lungo la catena degli utilizzatori, quando si utilizzano o vengono trattati nanomateriali o prodotti contenenti nanomateriali.

La valutazione dei rischi associati ai nanomateriali fabbricati dovrebbe includere:

1. un inventario dei nanomateriali immagazzinati e usati sul luogo di lavoro;
2. informazioni sui rischi per la salute legati ai nanomateriali, solitamente fornite in schede di dati di sicurezza;
3. una valutazione dell'esposizione per inalazione, tramite contatto con la cute o ingestione;
4. decisioni sulle azioni necessarie per ridurre l'esposizione e un piano d'azione che specifichi cosa deve essere fatto, da chi e quando;
5. una valutazione dei rischi per i lavoratori vulnerabili, quali i giovani lavoratori e le lavoratrici gestanti o in periodo di allattamento, determinando se occorra adottare azioni specifiche volte a tutelarli;
6. la revisione periodica della valutazione dei rischi;
7. la valutazione delle azioni adottate e, se necessario, miglioramenti al piano d'azione.

Le valutazioni dei rischi devono essere basate sul principio di precauzione e tenere conto delle seguenti considerazioni:

- il nanomateriale rientra tra quelli considerati a rischio elevato?
- un elevato livello di esposizione al nanomateriale può verosimilmente verificarsi sul luogo di lavoro o in modo accidentale?

I nanomateriali ad alto rischio e livelli elevati di esposizione rappresentano un rischio molto elevato e necessitano di un'azione immediata per ridurre l'esposizione. I nanomateriali a basso rischio e livelli ridotti di esposizione necessitano di un'azione meno immediata o non richiedono alcuna azione.

Sono disponibili diversi tipi di strumenti e di supporto per la valutazione dei rischi associati ai nanomateriali.

Questi sono illustrati sinteticamente nelle linee guida della Commissione europea sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori dai potenziali rischi derivanti dai nanomateriali sul posto di lavoro («Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work»).

Ulteriori informazioni sono disponibili nei siti web dell'Agenzia europea per le sostanze chimiche, dell'Organizzazione mondiale della sanità e dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico.

## Misure di intervento e gestione dei rischi

I datori di lavoro sono tenuti a fornire un ambiente di lavoro sano e sicuro ai propri lavoratori, che comprenda la protezione dai rischi associati ai nanomateriali.

La legislazione europea in materia di salute e sicurezza sul lavoro stabilisce una «gerarchia» di misure volte a prevenire o ridurre l'esposizione dei lavoratori alle sostanze pericolose (articolo 6 della direttiva sugli agenti chimici). Tale «ordine di priorità» — quale definito nella direttiva — è noto anche come il «principio dello STOP»:

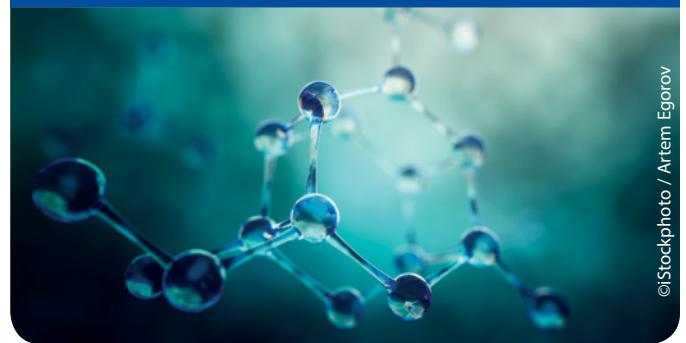
**S = sostituzione** (comprende anche l'eliminazione completa di una sostanza pericolosa)

**T = measures tecnologiche**

**O = measures organizzative**

**P = misure di protezione personale.**

### S = sostituzione



©iStockphoto / Artem Egorov

I nanomateriali sono spesso utilizzati per le loro proprietà tecniche uniche, pertanto la sostituzione potrebbe risultare difficile. Anche se l'uso di un nanomateriale non può essere eliminato, è tuttavia possibile gestire il nanomateriale in modo da ridurre al minimo l'esposizione, ad esempio in forma liquida, come liquame o pasta, o collegato a un solido. Ciò diminuisce in misura significativa l'esposizione, in particolare per inalazione. Tuttavia non si dovrebbero spruzzare i nanomateriali in mezzi liquidi, in quanto possono essere inalati nell'aerosol.

//  
*Le principali vie di esposizione ai nanomateriali sono l'inalazione e l'esposizione cutanea*

## T = misure tecnologiche



In linea di principio i nanomateriali aerodiffusi sono comparabili agli aerosol e possono essere controllati utilizzando misure simili a quelle adottate per questi ultimi. Tuttavia, a causa della minuscola massa delle nanoparticelle, hanno un'energia cinetica molto bassa. Per questo il loro comportamento può essere considerato analogo a quello dei gas anziché a quello delle polveri. La scelta della tecnologia dipende dalla misura dell'esposizione, la quale a sua volta è influenzata dalla polverosità e dal livello di emissione del nanomateriale. Potrebbe essere necessario ricorrere a un'associazione di metodi per gestire l'esposizione e il rischio. L'incapsulamento e la ventilazione del processo rappresentano un metodo efficace per ridurre l'esposizione. Nondimeno occorre gestire i rischi di perdite nonché considerare e tenere sotto controllo i rischi relativi alla manutenzione, alla riparazione e alla pulizia.

Per rispondere all'esigenza di proteggere i processi dalla contaminazione, spesso si selezionano sistemi chiusi per processi in cui sono trattati nanomateriali. Un sistema chiuso risulta vantaggioso e una buona misura tecnologica, poiché previene anche l'emissione dei nanomateriali nell'ambiente circostante e verso i lavoratori. L'utilizzo di uno spazio chiuso è particolarmente raccomandato per attività quali la misurazione dei nanomateriali fabbricati, il loro versamento (compreso il mescolamento) o la raccolta dalle apparecchiature di produzione o trattamento, la pulizia dei contenitori e il trattamento dei rifiuti, a meno che non sussista alcun rischio di esposizione.

Se non si può ricorrere alla sostituzione o all'utilizzo di sistemi chiusi, si dovrebbero considerare misure tecniche di controllo (ad esempio il contenimento, l'eliminazione locale d'aria, la ventilazione generale) per ridurre l'esposizione. Le misure tecniche di controllo dipenderanno dai requisiti di ogni luogo di lavoro e dovrebbero tener conto della fonte di emissione, del rischio e della necessità di ridurre le emissioni e l'esposizione, nonché della quantità e della forma fisica del nanomateriale, della durata e della frequenza della mansione.

La ventilazione locale e generale aiuta a prevenire la dispersione dei nanomateriali aerodiffusi nell'area di lavoro e negli spazi adiacenti. Per eliminare le nanoparticelle dall'aria esausta, è necessario utilizzare un adeguato sistema di filtraggio, ad esempio un sistema multistadio con filtri antiparticolato ad alta efficienza (HEPA) o filtri dell'aria a bassissima penetrazione (ULPA).

L'ottimizzazione della progettazione dei processi e delle pratiche operative, in modo da ridurre al minimo i prodotti secondari pericolosi e la produzione dei rifiuti, diminuirà l'esposizione sul luogo di lavoro.

È possibile ridurre il rischio di esplosioni derivanti dalle nanoparticelle utilizzando quattro «barriere di sicurezza specifiche»:

- barriera di prevenzione: ridurre la probabilità di un incidente rafforzando le procedure di manutenzione che impediscono le emissioni fuggitive, la creazione involontaria di un'atmosfera esplosiva, la formazione di elettricità statica e fonti d'ignizione accidentali;
- barriera di limitazione: ridurre i fattori di rischio relativi al processo diminuendo la temperatura e le pressioni di processo;
- barriera di limitazione: ridurre i parametri di gravità delle esplosioni di nanopolveri attraverso la sostituzione o la diluizione;
- barriera di protezione: aumentare il livello di protezione dei lavoratori a rischio.



## O = misure organizzative



Le misure organizzative comprendono, ad esempio, le informazioni da fornire ai lavoratori sui rischi, le misure preventive da applicare e le norme da seguire. Le informazioni per i lavoratori dovrebbero includere quelle relative ai pericoli associati ai nanomateriali e all'importanza del principio di precauzione, considerando le conoscenze ancora limitate in materia di rischi associati ai nanomateriali per la salute e la sicurezza. La documentazione delle procedure e delle istruzioni operative sicure per i processi che coinvolgono i nanomateriali, resa disponibile sul luogo di lavoro, costituirà una base per pratiche di lavoro adeguate e un punto di riferimento per un miglioramento costante.

Le misure organizzative potrebbero anche includere la riduzione al minimo del numero di lavoratori esposti ai nanomateriali sul luogo di lavoro nonché la diminuzione delle ore di lavoro in cui vi è una potenziale esposizione ai nanomateriali. Si dovrebbe limitare l'accesso alle aree dove potrebbe verificarsi l'esposizione e i cartelli di sicurezza e pericolo dovrebbero essere utilizzati in modo corretto.



## P = misure di protezione personale



In ultima istanza, se le misure descritte sopra non possono essere applicate o risultano insufficienti, si dovrebbero utilizzare dispositivi di protezione individuali. In molti settori si usano indumenti da lavoro, nonché guanti e occhiali, se necessario.

Le schede dati di sicurezza per le sostanze chimiche contenenti nanomateriali dovrebbero comprendere informazioni sui dispositivi di protezione individuali raccomandati. Selezionando il giusto tipo di dispositivo di protezione individuale è possibile garantire una protezione adeguata contro i nanomateriali.



### Ulteriori informazioni

Per tutti i riferimenti e informazioni più dettagliate, si rimanda all'articolo OSHwiki sui nanomateriali (in inglese):

<https://oshwiki.eu/wiki/Nanomaterials>

[#EUhealthyworkplaces](#)

