
capitolo 6

Valutazione e Gestione del Rischio

Luigi Monica (coordinatore), *INAIL, Dipartimento di Tecnologie di Sicurezza - ex ISPESL*
Fabio Boccuni, *INAIL, Dipartimento di Medicina del Lavoro - ex ISPESL*

6.1. Principio di precauzione

In sede decisionale in materia ambientale e sanitaria in genere, laddove esistano opinioni contrastanti sulle linee guida da adottare ed i dati scientifici a disposizione siano scarsi o non sufficientemente chiari, può essere richiamato il cosiddetto “Principio di precauzione”.

Il principio di precauzione può essere invocato, quando si renda necessario un intervento urgente di fronte a un possibile pericolo per la salute umana, animale o vegetale, ovvero per la protezione dell’ambiente nel caso in cui i dati scientifici non consentano una valutazione completa del rischio. Tale principio viene soprattutto applicato nei casi di pericolo per la salute delle persone.

Il Trattato della Commissione Europea contiene un solo riferimento esplicito al principio di precauzione, e più precisamente, nel titolo consacrato alla protezione ambientale. Tuttavia, nella pratica, il campo d’applicazione del principio è molto più vasto e si estende anche alla politica dei consumatori e alla salute umana, animale o vegetale.

In assenza di una definizione del principio di precauzione nel Trattato o in altri testi comunitari, il Consiglio Europeo, nella sua risoluzione del 13 aprile 1999, ha chiesto alla Commissione di elaborare degli orientamenti chiari ed efficaci al fine dell’applicazione di detto principio. In risposta, nel febbraio del 2000, la Commissione ha adottato una Comunicazione sul principio di precauzione, con l’obiettivo di giungere ad una comprensione comune dei modi in cui è opportuno valutare, gestire e comunicare i rischi che la scienza non è ancora in grado di valutare pienamente (Comunicazione della Commissione Europea, 2000). La Comunicazione della Commissione costituisce una risposta a questa domanda: la Commissione analizza rispettivamente i fattori che provocano il ricorso al principio di precauzione e le misure risultanti da tale ricorso. Essa propone anche orientamenti per l’applicazione del principio stesso.

Secondo la Commissione, il principio di precauzione può essere invocato nel caso in cui gli effetti potenzialmente pericolosi di un fenomeno, di un prodotto o di un processo siano stati identificati tramite una valutazione scientifica e obiettiva, che però non consente di determinare il rischio con sufficiente certezza. Il ricorso al principio si iscrive pertanto nel quadro generale dell'analisi del rischio (che comprende la valutazione del rischio) e più particolarmente nel quadro della gestione del rischio che corrisponde alla presa di decisione.

Il ricorso al principio di precauzione è pertanto giustificato solo quando riunisce tre condizioni, ossia:

1. L'identificazione degli effetti potenzialmente negativi.
2. La valutazione dei dati scientifici disponibili.
3. L'ampiezza dell'incertezza scientifica.

Per quanto riguarda le misure risultanti dal ricorso al principio di precauzione, esse possono prendere la forma di una decisione di agire o di non agire. La risposta scelta dipende da una decisione politica, che è funzione del livello di rischio considerato come "accettabile" dalla società che deve sostenerlo.

Tre principi specifici dovrebbero sottendere il ricorso al principio di precauzione:

1. L'attuazione del principio dovrebbe fondarsi su una valutazione scientifica la più completa possibile. Detta valutazione dovrebbe, nella misura del possibile, determinare in ogni istante il grado d'incertezza scientifica.
2. Qualsiasi decisione di agire o di non agire in virtù del principio di precauzione dovrebbe essere preceduta da una valutazione del rischio e delle conseguenze potenziali dell'assenza di azione.
3. Non appena i risultati dalla valutazione scientifica e/o della valutazione del rischio sono disponibili, tutte le parti in causa dovrebbero avere la possibilità di partecipare allo studio delle varie azioni prevedibili nella maggiore trasparenza possibile.

Oltre a questi principi specifici, i principi generali di una buona gestione dei rischi restano applicabili allorché il principio di precauzione viene invocato. Si tratta dei cinque seguenti principi:

- La proporzionalità tra le misure prese e il livello di protezione ricercato.
- La non discriminazione nell'applicazione delle misure.
- La coerenza delle misure con quelle già prese in situazioni analoghe o che fanno uso di approcci analoghi.
- L'esame dei vantaggi e degli oneri risultanti dall'azione o dall'assenza di azione.
- Il riesame delle misure alla luce dell'evoluzione scientifica.

I nanomateriali (NM) possiedono caratteristiche particolari e il loro utilizzo industriale crea nuove opportunità, ma anche nuovi rischi e incertezze. La loro crescente produ-

zione e il successivo uso espongono a questi materiali un numero crescente di lavoratori e di consumatori. Ciò porta ad una maggiore necessità di informazioni sui possibili effetti ambientali e sanitari legati all'impiego dei NM.

Infatti, la conoscenza dell'esposizione professionale a nuovi nanomateriali è molto limitata. Inoltre, le tecniche di misura per determinarne l'esposizione non sono completamente sviluppate. Sono attualmente in fase di discussione e di definizione diversi metodi sia *in vivo* sia *in vitro* per indagare i possibili effetti dei NM sulla salute, oltre ai metodi per determinarne le proprietà chimico-fisiche (Satterstorm FK et al, 2008).

La strategia comunitaria sulla salute e sicurezza del lavoro per il periodo 2007-2012 include le nanotecnologie come argomento su cui lavorare nel contesto dell'identificazione dei rischi nuovi ed emergenti. Inoltre, è stata pubblicata una comunicazione della Commissione Europea in cui si è sviluppato un Piano di azione per implementare un approccio sicuro, integrato e responsabile alle nanotecnologie, approvato successivamente dal Parlamento Europeo (Comunicazione della Commissione Europea, 2005; Parlamento Europeo, 2006; Comunicazione della Commissione Europea, 2007). Inoltre per assicurare uno sviluppo etico e sicuro delle nanotecnologie la Commissione Europea ha stabilito un Codice di Comportamento (Comunicazione della Commissione Europea, 2004). Vi sono al momento, infatti, numerose iniziative/attività in corso, la cui finalità è quella di assicurare la ricerca e lo sviluppo sicuro e responsabile di questa nuova tecnologia.

Infine, nel 2008, la Commissione Europea ha definito che lo sviluppo delle attività sulle nanotecnologie dovranno essere gestite e strutturate attraverso un approccio responsabile. (Raccomandazione della Commissione Europea, 2008). Anche il Comitato economico e sociale europeo ha sottolineato l'esigenza di uno sviluppo delle nanotecnologie, trattando gli aspetti etici in stretto parallelismo con quelli ambientali e quelli inerenti alla salute e alla sicurezza, lungo tutto il ciclo di vita delle loro applicazioni scientifiche (Parere del Comitato economico e sociale europeo, 2008).

6.2. Approccio alla valutazione del rischio

Come precedentemente analizzato la strategia europea prevede un approccio responsabile per lo sviluppo delle attività correlate ai NM. In attesa di ulteriori sviluppi circa gli effetti tossicologici collegati all'esposizione ai NM, è opportuno operare con il massimo della cautela.

Sono stati messi in campo numerosi strumenti per garantire un elevato livello di sicurezza dei lavoratori, che possono essere ricondotti alla gestione in sicurezza dei NM. Il quadro legislativo di riferimento è la direttiva 89/391/EEC, recepita oggi in

Italia dal D.Lgs. 81/08 e s.m.i. Per quanto riguarda la sicurezza chimica si fa riferimento alla Direttiva sulla protezione della salute e sicurezza dei lavoratori dal rischio dovuto alla manipolazione delle sostanze chimiche (Direttiva 98/24/EEC).

Infine il Regolamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) entrato in vigore l' 1 giugno 2007 in Europa dovrebbe garantire una maggior protezione sia dei lavoratori sia dei consumatori dal rischio derivante dalle sostanze chimiche, tra cui i NM.

Quindi, anche per i NM è possibile seguire un approccio alla valutazione del rischio che riprenda quello già in uso per le sostanze che espongono i lavoratori al rischio chimico. Infatti, anche la Commissione Europea ritiene in linea di massima che l'attuale legislazione copra i possibili rischi per la salute, la sicurezza e l'ambiente connessi ai NM (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2008).

In particolare la "Valutazione del rischio", anche nel caso specifico, va intesa come l'insieme di tutte quelle operazioni, conoscitive ed operative, che devono essere attuate per addivenire ad una "Stima del Rischio di esposizione" ai NM per la sicurezza e la salute del personale, in relazione allo svolgimento delle lavorazioni.

La valutazione del rischio è pertanto un'operazione complessa ed iterativa che necessariamente richiede, per ogni ambiente o posto di lavoro considerato, una serie di operazioni, successive e conseguenti tra loro, che devono prevedere:

1. l'identificazione delle sorgenti di rischio di esposizione a NM presenti nel ciclo lavorativo;
2. l'individuazione dei conseguenti potenziali rischi di esposizione a NM in relazione allo svolgimento delle lavorazioni;
3. la stima dell'entità dei rischi di esposizione a NM connessi con le situazioni di interesse prevenzionistico individuate.

Tale processo di valutazione può portare, per ogni ambiente o posto di lavoro considerato, ai seguenti risultati:

- assenza di rischio di esposizione;
- presenza di esposizione controllata;
- presenza di un rischio di esposizione.

Nel primo caso non sussistono problemi connessi con lo svolgimento delle lavorazioni. Nel secondo caso la situazione deve essere mantenuta sotto controllo periodico. Nel terzo caso si dovranno attuare i necessari interventi di prevenzione e protezione secondo la scala di priorità prevista.

Al riguardo, vengono di seguito riportati gli *step* logici da seguire per l'esecuzione delle varie fasi operative di valutazione del rischio da esposizione a NM.

1. **I fase.** Identificazione delle Sorgenti di Rischio di esposizione a NM.

Tale fase viene eseguita attraverso una breve, ma accurata, descrizione del ciclo lavorativo che viene condotto nell'ambiente di lavoro preso in esame. A supporto della descrizione dell'attività lavorativa svolta, dovranno essere riportate:

- la finalità della lavorazione o dell'operazione, con la descrizione del processo tecnologico, delle macchine, impianti e apparecchiature utilizzate, delle sostanze impiegate e/o prodotte e di eventuali intermedi;
- la descrizione del ciclo tecnologico delle lavorazioni (devono essere considerate le operazioni di pulizia, manutenzione, trattamento e smaltimento rifiuti ed eventuali lavorazioni concomitanti);
- la destinazione dell'ambiente di lavoro (reparto di lavoro, laboratorio, ecc.);
- le caratteristiche strutturali dell'ambiente di lavoro (superficie, volume, porte, finestre, ecc.);
- il numero degli operatori addetti alle lavorazioni e/o operazioni svolte in quell'ambiente di lavoro;
- la presenza di movimentazione di NM all'interno dell'ambiente di lavoro.

La descrizione del ciclo lavorativo o dell'attività operativa permetterà di avere una visione d'insieme delle lavorazioni e delle operazioni svolte nell'ambiente di lavoro preso in esame e, di conseguenza, di poter eseguire un esame analitico per la ricerca della presenza di eventuali sorgenti di rischio di esposizione a NM per la sicurezza e la salute del personale. In tale fase riveste particolare importanza la partecipazione dei lavoratori ed il loro coinvolgimento nella ricerca di tutte le potenziali sorgenti di rischio eventualmente presenti nell'intero ciclo lavorativo.

Al termine della I fase dovranno essere identificate le sorgenti di rischio che nel loro impiego possono provocare, obiettivamente (valutandone l'entità, le modalità di funzionamento, ecc.) un potenziale rischio di esposizione sia esso di tipo infortunistico che igienico-ambientale, non prendendo quindi in considerazione quelle sorgenti di rischio che per loro natura o per modalità di struttura, impianto ed impiego non danno rischio di esposizione.

2. Il fase. Individuazione dei Rischi di esposizione a NM.

Questa fase costituisce una operazione, generalmente non semplice, che deve portare a definire se la presenza di sorgenti di rischio e/o di pericolo, identificate nella fase precedente, possa comportare nello svolgimento della specifica attività un reale rischio di esposizione a NM per quanto attiene la sicurezza e la salute del personale addetto. Al riguardo si dovranno esaminare:

- le modalità operative seguite nell'espletamento dell'attività (manuale, automatica, strumentale) ovvero dell'operazione (a ciclo chiuso, in modo segregato o comunque protetto);

- l'entità delle lavorazioni in funzione dei tempi impiegati e delle quantità di materiali utilizzati nell'arco della giornata lavorativa;
- l'organizzazione dell'attività (tempi di permanenza nell'ambiente di lavoro, contemporanea presenza di altre lavorazioni);
- la presenza di misure di sicurezza e/o di sistemi di prevenzione/protezione, previste per lo svolgimento delle lavorazioni.

Si sottolinea il concetto che devono essere individuati i rischi che derivano non tanto dalle intrinseche potenzialità di rischio delle sorgenti (macchine, impianti, sostanze chimiche, ecc.), quanto i potenziali rischi residui che permangono tenuto conto delle modalità operative seguite, delle caratteristiche dell'esposizione, delle protezioni e misure di sicurezza esistenti (schermatura, segregazione, protezioni intrinseche, cappe di aspirazione, ventilazione, isolamento, segnaletica di pericolo) nonché dagli ulteriori interventi di protezione.

3. III fase. Stima dei Rischi di Esposizione a NM.

Questa fase si basa su decisioni di tipo valutativo. Tali decisioni devono appoggiarsi su metodi qualitativi, per quanto possibile integrati da metodi quantitativi. I metodi quantitativi sono particolarmente appropriati quando la gravità e l'entità prevedibili del danno sono elevate. I metodi qualitativi sono utili per valutare misure di sicurezza alternative, e per determinare quale tra queste fornisca la migliore protezione. In dettaglio questa fase dovrebbe prevedere:

- una verifica del rispetto dell'applicazione delle norme di sicurezza alle macchine, impianti e apparecchiature durante il loro funzionamento;
- una verifica dell'accettabilità delle condizioni di lavoro, in relazione all'esame oggettivo della entità dei rischi e della durata delle lavorazioni, delle modalità operative svolte e di tutti i fattori che influenzano le modalità e l'entità dell'esposizione, in analogia con i dati di condizioni di esposizione similari riscontrati nello stesso settore operativo, in considerazione di consolidate esperienze. Va sottolineato che, laddove esistano situazioni lavorative omogenee sarà possibile definire un elenco orientativo "unitario" dei fattori di rischio da considerare e, quindi, procedere su tali valutazioni, ai relativi interventi integrati secondo specifiche misure di tutela connesse con le diversificazioni eventualmente riscontrabili caso per caso;
- una verifica delle condizioni di sicurezza ed igiene anche mediante acquisizione di documentazioni e certificazioni (es. schede di sicurezza dei NM);
- una misura dei parametri di rischio che porti ad una loro quantificazione oggettiva ed alla conseguente valutazione attraverso il confronto con indici di riferimento (si precisa che questa fase ad oggi è ancora di difficile sviluppo

poiché le tecniche di misura per determinarne l'esposizione specifica a NM non sono ancora completamente definite).

Al termine di questa III fase si potrà procedere alla definizione delle misure di prevenzione e protezione più idonee da implementare, descritte nel paragrafo successivo. La procedura di valutazione del rischio dovrà essere condotta nuovamente una volta individuate le misure, per verificare che si sia raggiunto un rischio residuo accettabile.

Infine, la valutazione dei rischi deve essere effettuata in modo che sia possibile documentare la procedura seguita ed i risultati ottenuti.

6.3. Possibili misure di prevenzione e protezione

In virtù del principio di precauzione è necessario ridurre al minimo l'esposizione ai NM. Questo è possibile sia riducendo la durata di esposizione e/o il numero delle persone esposte, sia la concentrazione dei NM stessi.

Il controllo dell'esposizione a NM può essere, ad oggi, compiuto usando un'ampia varietà di tecniche di controllo di ingegneria simili a quelle usate nella riduzione delle esposizioni agli aerosol generali (Ratherman S, 1996; Burton J, 1997). Inoltre, dovrebbero essere previste procedure per la corretta installazione e mantenimento in efficienza dei comandi di ingegneria (es. impianti di ventilazione) su quelle postazioni di lavoro dove è prevedibile l'esposizione ai NM.

È necessario anche prevedere un appropriato programma di informazione e formazione dei lavoratori per la manipolazione dei NM ed il corretto uso dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI).

Un primo strumento preventivo d'informazione è costituito dalle schede di sicurezza che accompagnano i NM e riportano le informazioni ed rischi per la sicurezza e l'ambiente connessi al loro uso e manipolazione.

Le possibili misure di prevenzione e protezione dovrebbero seguire la seguente scala di priorità (British Standards Institute, 2008):

1. Eliminazione del nanomateriale.
2. Sostituzione del nanomateriale.
3. Isolamento/confinamento o segregazione della fonte.
4. Protezione dell'ambiente (misure tecniche per captare, limitare ed espellere nanomateriale).
5. Organizzazione del lavoro.
6. Protezione personale (utilizzo di DPI come integrazione alle misure tecniche).

A seguire l'elenco delle possibili misure di prevenzione e protezione ad oggi disponibili:

a. Sostituzione:

- sostituire i preparati pulviscolari con altri che contengano nanoparticelle in matrice legata e quindi ne impediscano la diffusione (dispersioni, paste, granulati, *compound*, ecc.);
- sostituire le applicazioni a spruzzo con altre con scarsa formazione di aerosol (applicazione a pennello, immersione).

b. Segregazione della fonte:

- utilizzare apparecchiature a ciclo chiuso;
- automazione – robot.

c. Interventi di protezione dell'ambiente:

- cappe aspiranti;
- ventilazione degli ambienti di lavoro;
- aspirazioni localizzate;
- sistemi di allarme;
- corretto impiego di sistemi di produzione;
- filtrazione dell'aria di scarico (filtro HEPA in caso di ricircolo dell'aria nel locale di lavoro);
- separazione eventuale del locale di lavoro e adeguamento dell'impianto di ventilazione (leggera depressione).

d. Misure di sicurezza e organizzazione del lavoro

- ridurre al minimo la durata di esposizione;
- ridurre al minimo il numero delle persone esposte;
- limitare gli accessi all'ambiente di lavoro;
- divieto di fumare;
- operazioni lontano da fiamme, da sorgenti di calore e da scintille;
- formazione/informazione sui pericoli e sulle misure di protezione;
- etichettatura;
- schede di sicurezza;
- segnaletica di sicurezza;
- servizi di sicurezza (docce di emergenza, lava-occhi, note di intervento di primo soccorso per le sostanze adoperate).

e. Interventi di protezione personale e igiene:

- guanti;
- maschere e respiratori;
- corretto impiego delle apparecchiature e strumentazioni di laboratorio;
- propipette;
- pipettatrici automatiche;
- materiali a perdere;
- disponibilità di recipienti per deposito provvisorio dei rifiuti.

6.4 Esempi di buone pratiche

6.4.1 Stima del rischio

Si riporta di seguito un esempio di corretto approccio alla stima del rischio, basato sull'approccio di "control banding" (Giacobbe F et al, 2009).

L'esempio, valido sia nel caso di attività di ricerca in laboratorio che di produzione industriale, una volta che siano state condotte le propedeutiche fasi di identificazione delle sorgenti di rischio e dei rischi di esposizione a NM, è caratterizzato dai seguenti dieci parametri:

- A. Numerosità dei lavoratori esposti.
- B. Frequenza di esposizione.
- C. Frequenza di manipolazione diretta.
- D. Dimensioni dei NM.
- E. Comportamento dei NM (es. dispersione o agglomerazione).
- F. Efficacia dei DPI usati.
- G. Organizzazione e procedure di lavoro.
- H. Caratteristiche tossicologiche delle sostanze.
- I. Rischio di incendio ed esplosione.
- J. Idoneità degli spazi di lavoro e delle attrezzature.

I suddetti parametri sono di seguito denominati "parametri di rischio". Ogni "parametro di rischio" può assumere tre diversi valori crescenti: 1 (basso), 2 (medio) e 3 (alto). Questi vengono denominati "livello di rischio".

Per tenere conto del livello di conoscenza scientifica degli effetti dei NM può essere definito un "fattore correttivo". Tale indice presume un valore all'interno dell'intervallo compreso tra 0,5 e 2,0. In particolare assume i valori seguenti in funzione del livello della conoscenza scientifica: 0,5 – buon livello; 1,0 – sufficiente livello; 2,0 – insufficiente livello.

L'algoritmo utilizzato per la valutazione del rischio è:

$$\text{Valutazione del Rischio} = \sum_{i=A}^J (\text{Parametri di rischio})_i * (\text{Fattore correttivo})$$

L'algoritmo di valutazione può essere utilizzato in tutte le possibili condizioni di lavoro, tenendo conto delle eventuali condizioni anormali (es. malfunzionamento dell'impianto di trattamento aria) e situazioni di emergenza (es. rottura della confezione e dispersione incontrollata del prodotto).

In funzione del risultato della valutazione del rischio è possibile classificare tre diversi livelli crescenti ("basso", "medio" e "alto"). In figura 6.1 è visibile la suddivisione in tre livelli crescenti di rischio.

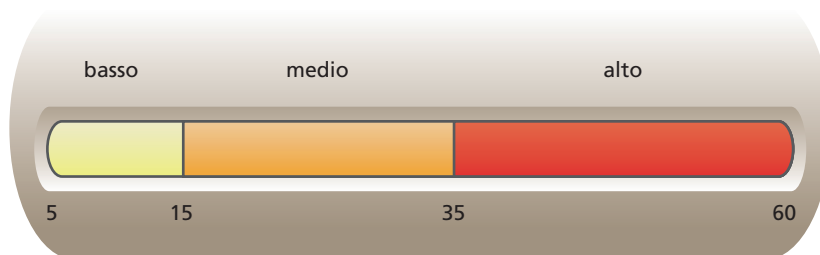


Figura 6.1 – I possibili esiti della valutazione del rischio vengono suddivisi su tre livelli: “basso” (5 ÷ 15); “medio” (16 ÷ 35); “alto” (36 ÷ 60).

Se si ottengono livelli di rischio “alto” è necessaria l’attivazione di interventi immediati per fare in modo di ridurre il livello di rischio al grado “medio”.

Per il parametro di rischio G (organizzazione e procedure di lavoro), fondamentali sono ad esempio: formazione del personale di laboratorio che deve essere informato circa i rischi associati alla manipolazione dei NM; procedure per la manutenzione e la pulizia delle attrezzature in uso; procedure per l’impiego dei DPI.

Il presente modello di valutazione è stato sperimentato presso laboratori di ricerca che stanno usando NM per la realizzazione di celle fotovoltaiche. I NM utilizzati, per le loro proprietà elettriche, sono i nanotubi di carbonio a parete singola (SWCNT) e il diossido di titanio (TiO_2).

Per la conduzione di questa attività di ricerca non sono necessari quantitativi eccessivi, nel caso specifico le confezioni contengono massimo 10 g di prodotto.

I singoli NM sono accompagnati dalle schede di sicurezza, che riportano le informazioni sul materiale ed i rischi per la sicurezza e l’ambiente connessi all’uso e la manipolazione.

La realizzazione di celle di fotovoltaiche non comporta la manipolazione diretta dei NM da parte del ricercatore (lavoratore). I NM sono dispersi inizialmente in acqua per ridurne e controllare la densità (un SWCNT ha una densità uguale ad approssimativamente 1 g/cm^3). Le nanopolveri di TiO_2 sono lavorate con solventi in modo tale da ottenere una pasta allo stato cremoso. Ogni singola fase del processo è strutturata in modo tale da evitare il contatto diretto con la pelle e/o l’eventuale respirazione delle polveri aereodisperse. I ricercatori lavorano indossando i DPI (guanti e maschere) ed eseguono le operazioni di manipolazione usando il *dry box*.

Non sono state però definite apposite e specifiche procedure per regolamentare l’accesso ai locali e per la gestione delle possibili situazioni di emergenza (es. rovesciamento di una confezione aperta con conseguente aereodispersione incontrollata del nanomateriale).

Tavola 6.1 – Criteri per associare i diversi “fattori livello di rischio” ai diversi “parametri di rischio” (A ÷ J)

	Livello rischio Parametri di rischio	Basso 1	Medio 2	Alto 3
A	la numerosità dei lavoratori esposti	1 ÷ 2 persone	3 ÷ 5 persone	> di 6 persone
B	frequenza di esposizione	< 2 ore/giorno	> 2 ore/giorno e < 6 ore/giorno	> 6 ore/giorno
C	frequenza di manipolazione diretta	> 70 nm	> 10 nm e < 70 nm	< 10 nm
D	dimensioni dei NM	alta tendenza ad agglomerarsi	media tendenza ad agglomerarsi	alta tendenza ad aereodispersione
E	comportamento dei NM (es. dispersione o agglomerazione)	< 2 ore/giorno	> 2 ore/giorno e < 4 ore/giorno	> 4 ore/giorno
F	efficacia dei DPI usati	uso dei seguenti DPI: guanti di gomma (mani), occhiali o schermi (occhi), tuta (pelle), maschera con filtro HEPA (vie respiratorie)	parziale uso dei DPI	nessun DPI utilizzato
G	organizzazione e procedure di lavoro	impiego di buone pratiche di lavoro	semplici e limitate procedure	nessuna procedura o nessuna limitazione per accedere ai locali di lavoro
H	caratteristiche tossicologiche delle sostanze	consiglio di sicurezza che concerne sostanze pericolose e preparazioni: S28 (dopo contatto con pelle, immediatamente lavi con acqua (essere specificato dal fabbricante) S38 (in caso di ventilazione insufficiente, porti attrezzatura respiratoria ed appropriata)	consiglio di sicurezza che concerne sostanze pericolose e preparazioni: S22 (non respirare la polvere) S26 (in caso di contatto con occhi, immediatamente sciacquare con molta acqua e cercare il consiglio di un medico) S36 (indossare abbigliamento protettivo ed appropriato) S37 (indossare guanti appropriati) S39 (indossare protezioni per occhi e viso)	frasi di rischio: R36 (irrita gli occhi) R37 (irrita il sistema respiratorio) R40 (effetto cancerogeno)
I	rischio di incendio ed esplosione	non considerato	Improbabile	probabile
J	idoneità degli spazi di lavoro e delle attrezzature	<i>clean room</i> ≤ di classe 100 stanza uso di cappa (se i NM sono in fase di gas o aerosol) uso di <i>dry box</i> (se i NM sono in polvere)	1000 ≤ <i>clean room</i> ≤ 10000	<i>clean room</i> con classe ≥ 100000

Nella tavola 6.2 sono riportate quattro possibili condizioni; nella tavola 6.3 sono riportate le quantificazioni relative alla valutazione del rischio.

Evento	Nanomateriale	Stato delle particelle	Condizione (*)	Esposizione	Attività lavorativa e/o evento
a	SWCNT	Polvere secca e sospensione liquida	N	<ul style="list-style-type: none"> inalazione epidermide 	Dispersione in acqua
b	SWCNT	Sospensione liquida	N	<ul style="list-style-type: none"> epidermide 	Deposito e fissaggio su piastra
c	TiO ₂	Polvere secca	A	<ul style="list-style-type: none"> inalazione epidermide 	Avaria del dry box o del sistema di trattamento dell'aria
d	TiO ₂	Polvere secca aereodispersa	E	<ul style="list-style-type: none"> inalazione epidermide 	Dispersione incontrollata per rovesciamento della confezione

(*) N - normale • A - anormale • E - emergenza

Evento	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Σ (A÷B)	Fattore Correttivo (**)	Valutazione del rischio	Livello di Rischio (***)
a	1	2	2	3	1	1	2	3	1	1	17	2	34	medio
b	1	2	2	3	1	1	2	3	1	1	17	2	34	medio
c	1	1	2	2	1	1	2	2	1	3	16	2	32	medio
d	1	1	3	2	1	1	3	2	1	3	18	2	36	alto

(**) 0,5 – buona conoscenza scientifica • 1 - sufficiente conoscenza scientifica • 2 - insufficiente conoscenza scientifica

(***) 5 ÷ 15 – "basso" livello di rischio • 16 ÷ 35 – "medio" livello di rischio • 36 ÷ 60 – "alto" livello di rischio

6.4.2 Misure di ingegneria

Se il potenziale pericolo non può essere eliminato o la sostanza non può essere sostituita con una meno rischiosa (cosa difficile nel caso di NM con caratteristiche particolari) è necessario intervenire utilizzando appropriate misure di ingegneria. Se si è in presenza di NM non dispersi in matrice fluida, generalmente, le tecniche di controllo quale il confinamento alla fonte (cioè, isolare la fonte di generazione dal lavoratore) ed i sistemi locali di ventilazione dovrebbero essere efficaci per bloccare i NM dispersi nell'aria, purché essi siano progettati, installati e mantenuti correttamente secondo le istruzioni fornite dal fabbricante. Inoltre per quanto attiene il dimensionamento dei sistemi di ventilazione, si dovranno applicare le norme di buona tecnica basate sulla conoscenza scientifica per quanto riguarda la generazione, il trasporto ed il bloccaggio degli aerosol (ACGIH, 2001). Queste tecniche così implementate dovrebbero essere efficaci per il con-

trollo delle esposizioni nell'aria (Seinfeld JA e Pandis SN, 1998). È da tenere in considerazione che alcune tipologie di NM durante il ciclo di lavorazione possono formare agglomerati che si disperdono difficilmente nell'ambiente di lavoro. In questo caso l'esposizione e la scelta della misura di protezione dovranno riguardare la fase di prelievo del nanomateriale e di pulizia e manutenzione delle attrezzature di lavoro. Materiali come il nero di carbone (*carbon black*), l'ossido di titanio ultrafine, i nanotubi di carbonio e le nanoparticelle di ossidi metallici richiedono condizioni di contenimento totale.

6.4.3 Efficienza dei filtri per l'accumulo delle polveri

Le conoscenze attuali indicano che un sistema ben progettato di ventilazione con un filtro ad alta efficienza (HEPA) dovrebbe rimuovere efficacemente i NM (Hinds, 1999). L'uso di un filtro HEPA deve anche essere accoppiato ad una custodia del filtro ben progettata. Un filtro usato impropriamente è caratterizzato da efficienze molto meno alte di quanto progettato. Una semplice recinzione non ventilata, efficace nel controllo dell'emissione di particelle di dimensioni macro, non può essere efficace per i NM a causa della loro maggiore capacità di penetrazione.

6.4.4 Pratiche di lavoro

L'implementazione di buone pratiche di lavoro in un programma di gestione del rischio può contribuire a minimizzare l'esposizione dei lavoratori ai NM. Esempi di buone pratiche includono quanto segue:

- pulire le zone di lavoro alla fine di ogni turno lavorativo con raccolta dei filtri HEPA. Attrezzature a mandata d'aria (es. scope elettriche, macchinette ad aria compressa) non dovrebbero essere utilizzate per pulire le zone di lavoro. La pulizia e l'eliminazione dovrebbero essere condotte in un modo da impedire il contatto con il lavoratore.
- impedire l'immagazzinamento ed il consumo di alimenti o di bevande sui posti di lavoro in cui i NM sono maneggiati.
- fornire prodotti per la pulizia e il lavaggio consigliando ai lavoratori di usarli prima di lasciare il posto di lavoro.
- fornire vestiti di ricambio per impedire la contaminazione eventuale di altre zone (compresa casa propria) causate dal trasferimento dei NM sui vestiti e sulla pelle.

6.4.5 Pulizia delle superfici contaminate da NM sparsi

Attualmente non sono disponibili guide specifiche sulla pulizia e bonifica dei NM depositati nell'ambiente di lavoro; tuttavia, le raccomandazioni sviluppate nel-

l'industria farmaceutica per il trattamento e la pulizia dei residui farmaceutici potrebbero essere applicabili agli ambienti di lavoro che utilizzano NM (Wood JP, 2001).

Finché non saranno quindi disponibili maggiori informazioni, sarà bene considerare le classiche pratiche di pulizia attuali, insieme alle informazioni disponibili sui diversi rischi dovuti all'esposizione (schede di sicurezza).

Procedure standard di pulizia delle polveri e dei liquidi sparsi includono l'uso di filtri HEPA, lo spargimento di acqua sopra le polveri, l'uso di panni inumiditi per togliere la polvere e l'applicazione di materiali assorbenti per liquidi.

Quando si sviluppano procedure per la pulizia dei NM sparsi dovrebbe essere preso in considerazione il potenziale rischio dell'esposizione durante la pulizia. L'inalazione e il contatto con la pelle probabilmente rappresenteranno un rischio elevato. Bisognerà quindi prendere in considerazione l'adozione di misure di protezione per evitare l'inalazione dei NM durante le operazioni di pulizia e l'impiego di indumenti di protezione personale.

6.4.6 Indumenti di protezione personale

Allo stato attuale, non c'è nessuna guida di riferimento disponibile sulla selezione di indumenti o di altri articoli di vestiario per la protezione all'esposizione cutanea di NM (tute, guanti ed altri articoli di vestiario per la protezione). Attualmente sono state testate le efficienze di penetrazione per 8 tessuti differenti che variano dallo 0.0% a 31%, con una media del 12% (Shalev I et al, 2000). Pur essendo ancora lacunoso lo studio sulle capacità di barriera ai NM degli indumenti di protezione personale, vista la piccola mole di dati disponibili in merito, si precisa che anche se i NM possono penetrare l'epidermide, ci sono stati ad oggi pochi lavori scientifici che abbiano dimostrato gli effetti dannosi per la salute dovuti alla loro penetrazione.

Recenti studi sull'argomento hanno evidenziato che l'84% dei datori di lavoro, prendendo a riferimento le convenzionali pratiche di igiene del lavoro, raccomanda ai lavoratori esposti l'utilizzo di indumenti di protezione (ICON, 2006). Questa pratica è particolarmente raccomandata nei laboratori di ricerca (US DOE, 2007) e da guide normative (ASTM, 2007).

Tuttavia, anche per le polveri di dimensioni macro, è riconosciuto che l'indumento protettivo della pelle ha efficacia molto limitata nel ridurre o controllare l'esposizione cutanea (Schneider T et al, 1999).

Comunque alcuni indumenti di protezione già comprendono un test di penetrazione a particelle di dimensione nanometrica e quindi forniscono una certa indicazione dell'efficacia di protezione riguardo ai NM. Questo è il caso ad esempio dello standard

ASTM F1671-03, specifico per test di penetrazione degli agenti patogeni del sangue (batteriofago da 27 nm) (ASTM, 2003).

6.4.7 Respiratori

I respiratori possono essere necessari quando l'esposizione del lavoratore ad un agente inquinante disperso nell'aria è superiore ad un certo limite a causa della bassa efficacia delle misure di protezione tecniche e organizzative. Attualmente, i limiti specifici di esposizione a NM non sono stati determinati, anche se le dosi massime ammissibili per l'esposizione lavorativa (per esempio OSHA PELs - *Permissible Exposure Limits*; NIOSH RELs - *Recommended Exposure Limits*; ACGIH TLVs - *Threshold Limit Values*) sono già definite per la maggior parte delle particelle di composizione chimica simile. È da precisare però che la letteratura scientifica in materia evidenzia la maggiore pericolosità per la salute dei NM inalati rispetto a particelle di dimensione maggiore vista la loro maggiore reattività biologica.

La decisione di utilizzare respiratori durante il lavoro deve essere presa a seguito dei risultati della valutazione del rischio e della successiva fase d'implementazione delle misure di prevenzione e protezione. Quindi l'utilizzo di respiratori è consigliata nel caso in cui, a valle degli interventi di mitigazione del rischio, si ritenga ancora elevata l'esposizione del lavoratore.

Ad oggi esistono varie guide alla scelta corretta del respiratore da utilizzare (NIOSH, 2004).

Un respiratore comunque non deve ostacolare il lavoratore nelle proprie mansioni e non deve creare situazioni di pericolo di esposizione. Di conseguenza la scelta di utilizzare dei respiratori negli ambienti di lavoro dovrebbe essere comunque presa considerando:

1. Se il lavoratore riesce a svolgere il proprio compito indossando il respiratore.
2. Una formazione adeguata all'uso del respiratore da parte del lavoratore.
3. Un monitoraggio periodico dell'ambiente di lavoro.
4. Un test di prova periodici del respiratore.
5. Un programma di controllo, pulizia e manutenzione del respiratore.

Bibliografia

- ACGIH. Industrial ventilation: a manual of recommended practice. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2001.
- ASTM Committee E2535-07. Standard guide for handling unbound engineered nanoscale particles in occupational settings. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2007.
- ASTM Subcommittee F23.40. Standard test method for resistance of materials used in protective clothing to penetration by blood-borne pathogens using Phi-X174 bacteriophage penetration as a test system. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, ASTM F1671-03. 2003.
- British Standards Institute. Nanotechnologies, Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. 2008.
- Burton J. General methods for the control of airborne hazards. In: DiNardi SR, ed. The occupational environment—its evaluation and control. Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association. 1998
- Commissione Europea. Towards European strategy for nanotechnologies, Brussels, 2004:17.
- Comunicazione della Commissione Europea sul principio di precauzione. COM(2000) 1 del 2.2.2000.
- Comunicazione della Commissione Europea al Parlamento Europeo, al Consiglio e al Comitato economico e sociale Europeo. Aspetti normativi in tema di nanomateriali. [SEC(2008) 2036].
- Comunicazione della Commissione Europea. Nanoscienze e nanotecnologie: un piano d'azione per l'Europa 2005-2009. Prima relazione sull'attuazione, 2005-2007, 6 Settembre 2007.
- Comunicazione della Commissione Europea. Nanoscienze e nanotecnologie: un piano d'azione per l'Europa 2005-2009, Bruxelles, 7.6.2005; Parlamento Europeo (PE), Risoluzione del PE su nanoscienze e nanotecnologie: un piano d'azione per l'Europa 2005-2009, 28.9.2006.
- Giacobbe F, Monica L e Geraci D. Risk assessment model of occupational exposure to nanomaterials. Hum Exp Toxicol. 2009;28: 401-6.
- Hinds. Aerosol Technology; Properties, behaviour, and measurement of airborne particles 2nded. New York, NY: Wiley-Interscience. 1999.
- International Council on Nanotechnology (ICON). A survey of current practices in the nanotechnology workplace. 2006.
- NIOSH respirator selection logic. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication 2004;2005:100.
- Parere del Comitato economico e sociale europeo in merito alla Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio e al Comitato economico e sociale europeo — Aspetti normativi in tema di nanomateriali. COM(2008) 366 def. [(2009/C 218/04).
- Raccomandazione della Commissione Europea del 7 febbraio 2008 sul codice di condotta per una ricerca responsabile nel settore delle nanoscienze e delle nanotecnologie - notificata con il numero C(2008) 424.
- Ratherman S. Methods of control. In: Plog B, ed. Fundamentals of industrial hygiene. Itasca, IL: National Safety Council. 1996.
- Satterstorm, FK et al. Consideration for implementation of manufactured nanomaterial policy and governance. Nanomaterials Risks and Benefits, NATO, Series C, Springer. 2008. P 334.
- Schneider T et al. Conceptual model for assessment of dermal exposure. J Occup Environ Med. 1999;56:765-73.
- Seinfeld JA e Pandis SN. Atmospheric chemistry and physics. New York: John Wiley and Sons. 1998.
- Shalev I et al. Protective textile particulate penetration screening. Performance of protective clothing: 7th Symposium, ASTM STP 1386, West Conshohocken, PA: - American Society for Testing and Materials, ASTM. 2000. P 155-61.
- US DOE. Approach to Nanomaterial ES&H, U.S. Department of Energy's Nanoscale Science Research Centers. Washington, DC: U.S. Department of Energy. 2007.
- Wood JP. Containment in the pharmaceutical industry. New York: Marcel Dekker, Inc. 2001.