

Esposizione a particolato “inerte”

L'esposizione alla materia allo stato polverulento è sempre stata oggetto di attenzione nella normativa, fin dall'art. 21 del DPR n. 303/1956. Oggi le conoscenze scientifiche hanno evidenziato con maggior precisione i meccanismi di danno, ma la complessità della tematica richiede ancora sforzi nella direzione della ricerca.

di Giuseppina Paolantonio per Wolters Kluwer Italia

Concetti introduttivi

Viene definito “polvere non sclerogena” il particolato aerodisperso che può dar luogo a fenomeni di accumulo nell'apparato respiratorio ed in seguito a esposizioni croniche anche a patologie respiratorie, senza che però venga alterata la struttura polmonare (come invece avviene per le polveri sclerogene).

Sino a non molto tempo fa era diffuso l'uso di chiamare tale tipo di particolato anche “inerte” in quanto la sua interazione coi tessuti attraversati è prettamente di tipo fisico e non tossicologico come per le polveri pericolose. Attualmente per evitare la falsa interpretazione che queste particelle siano non dannose a qualsiasi concentrazione in aria viene preferita l'espressione “particelle fastidiose” o, meglio ancora come proposto dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), “particelle non diversamente classificate” (PNOC).

Modalità di esposizione

Per il materiale particolato la possibilità di ingresso nelle vie respiratorie è subordinata alle dimensioni che presenta, dal momento che il moto delle particelle è soggetto a diverse forze che ne possono favorire o meno la deposizione nell'albero bronchiale.

La deposizione di particelle sulla superficie del polmone e delle vie aeree è infatti il risultato di una combinazione dell'anatomia polmonare e dei flussi d'aria nel sistema respiratorio:

- 1) le particelle piccole (diametro aerodinamico inferiore a $0,5 \mu\text{m}$) sono soggette soprattutto a moti browniani e si depositano più facilmente in sede alveolare, ma se sono molto piccole (diametro aerodinamico inferiore a $0,01 \mu\text{m}$) restano intrappolate per diffusione nelle prime vie aeree, da cui sono facilmente esalate;
- 2) le particelle di diametro aerodinamico compreso tra $0,5 \mu\text{m}$ e $5 \mu\text{m}$ sono invece maggiormente soggette alla forza di gravità e tendono quindi a sedimentare dove le vie aeree sono di piccolo diametro ed il flusso d'aria è ridotto (nei bronchi di calibro minore e negli spazi alveolari);
- 3) le particelle medio-grandi (diametro aerodinamico compreso tra $5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$) impattano facilmente contro la superficie delle vie aeree, specie se soggette a bruschi cambiamenti di direzione in presenza di biforcazioni delle condotte aeree, e tendono a restarvi depositate;
- 4) la maggior parte delle particelle di diametro aerodinamico superiore a $10 \mu\text{m}$ si depositano invece nella regione extratoracica dell'apparato respiratorio, ovvero a livello del naso o del tratto orofaringeo, da cui possono essere più facilmente espulse.

Pertanto si può affermare che la regione alveolare presenta efficienza di deposizione per particelle comprese tra $0,003 \mu\text{m}$ e $5 \mu\text{m}$.

Sulla base dei processi sopra delineati, convenzionalmente (norma UNI EN 481, "Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse") nel particolato si suole distinguere:

- **frazione inalabile**: la quota di particolato totale in grado di essere inalata dal naso o dalla bocca (diametro aerodinamico compreso tra 10 μm e 100 μm) e di depositarsi in qualunque zona dell'albero respiratorio;
- **frazione toracica**: frazione del particolato intermedia (diametro aerodinamico inferiore a 10 μm) che si deposita prevalentemente nella regione tracheo-bronchiale dell'albero respiratorio;
- **frazione respirabile**: la più fine (diametro aerodinamico inferiore a 4 μm) che si deposita in regione alveolare (zona respiratoria).

Tanto più in profondità si verifica la deposizione del particolato, tanto più complessi saranno i processi di rimozione necessari (*clearance* polmonare) e maggiore sarà quindi il tempo disponibile affinché si sviluppi un danno al tessuto polmonare o si verifichi l'assorbimento locale dei composti adsorbiti sul particolato, che poi esprimono i propri meccanismi tossicologici.

Meccanismi di danno acclarati e recenti evidenze

Indubbiamente, a livello acuto, l'inalazione di particolato genera **irritazione e flogosi** delle prime vie respiratorie; inalazioni ripetute o prolungate possono condurre a **reazioni infiammatorie croniche** delle vie aeree, anche a causa di un'alterazione dei normali meccanismi posti a difesa delle stesse dall'ingresso di materiali estranei.

La frazione respirabile del particolato è quella in grado di raggiungere agevolmente gli alveoli ed è quindi la frazione maggiormente imputata di generare **disturbi cronici degenerativi**, quali bronchite cronica e broncopneumopatia cronico-ostruttiva, asma bronchiale, enfisema polmonare, alterazioni fibrotiche del parenchima polmonare; si pensa inoltre che abbia un ruolo determinante come causa o concausa della comparsa di tumori polmonari.

La semplice azione fisica di **irritazione meccanica** che le polveri esercitano ripetutamente all'interno dell'albero respiratorio e il loro deposito nelle vie respiratorie sono da molto tempo oggetto di preoccupazione in quanto possono condurre a trasformazioni dei tessuti in senso restrittivo (es. asma bronchiale) o ostruttivo (es. bronchite cronica ostruttiva, enfisema polmonare).

La continua irritazione ed infiammazione dei tessuti può inoltre originare nel tempo una modifica nei meccanismi di regolazione delle cellule coinvolte, che può condurre a neoplasie.

A questi meccanismi puramente fisici si può aggiungere l'**azione chimica** (tossicologica) esercitata dai componenti del particolato. La stessa struttura e composizione del particolato fine può infatti originare fenomeni di adsorbimento sulla superficie delle particelle, che diventano così veicolo per la penetrazione di molteplici sostanze chimiche nelle vie aeree profonde: ciò rappresenta indubbiamente un elemento di rischio, tuttavia è estremamente difficile caratterizzarne nello specifico i rischi prettamente tossicologici, vale a dire causati dall'interazione chimico-fisica dei diversi componenti con i tessuti attraversati. Numerose variabili del contesto quali, ad esempio, lo sforzo muscolare richiesto dall'attività svolta possono inoltre influire sul processo di assorbimento, in quanto si viene a modificare il flusso sanguigno, quindi lo stato di perfusione dei polmoni.

Se a causa della complessa composizione chimica non è possibile predire i rischi tossicologici dall'esposizione a polveri sottili, è possibile però osservarne gli effetti attraverso studi di tossicologia sperimentale e studi epidemiologici sulle popolazioni esposte: in effetti, da molti anni all'**esposizione al particolato sottile** (il cosiddetto PM_{2.5}) sono attribuite:

- **patologie acute e croniche a carico dell'apparato respiratorio e cardio-circolatorio centrale e periferico**,
- **tumori polmonari**,
- un'attivazione del sistema immunitario che può sfociare in **sensibilizzazioni ed allergie**.

Nel solo 2012 il PM_{2.5} è stato responsabile in Europa di 432.000 morti premature rispetto alla normale aspettativa di vita; in Italia 59.500 decessi sembrano essere riconducibili all'esposizione a questo inquinante. Una stima diffusa da OMS e OCSE nel 2015 – pur basata su un impatto sanitario di "sole" 32.400 morti

premature – quantifica il costo economico per l'Italia in circa 88,5 miliardi di euro all'anno, mentre nella totalità dei 53 Paesi della regione europea considerati il danno economico ammonterebbe a circa 1.600 miliardi di dollari.

Gli effetti patogeni finora descritti sono conosciuti da tempo, ma il meccanismo effettivo di interazione del particolato fine con l'organismo può essere molto più complesso proprio a causa della dimensione di queste particelle, che consente loro un'interazione precisa con i minuti e complessi **meccanismi di regolazione e di comunicazione delle cellule**. Alcune recenti ricerche epidemiologiche hanno ad esempio suggerito un nesso tra esposizione cronica a particolato respirabile ed effetti preoccupanti sull'intero metabolismo, come l'insorgenza di insulino-resistenza e la possibilità, nel tempo, di sviluppo del **diabete di tipo 2** (diabete insulino-resistente), ed un accentuato rischio di **ipercolesterolemia** e di obesità, a cui è notoriamente correlato un maggior rischio di **patologie cardiovascolari**.

Più recentemente, la tematica dell'esposizione a particolato "inerte" respirabile si è anche arricchita in funzione delle preoccupazioni legate ai **nanomateriali**, le cui caratteristiche dimensionali e morfologiche sono tali da rendere queste particelle:

- capaci di introdursi direttamente all'interno delle cellule;
- estremamente persistenti nei tessuti, inibendo, ad esempio, la *clearance* dell'apparato respiratorio;
- mobili, potendo dunque agire anche a grande distanza dal punto di ingresso.

Per queste particelle, anche quando non provviste di specifiche proprietà tossicologiche, sono quindi ipotizzati ed in alcuni casi evidenziati effetti di danno derivanti dall'interazione prettamente fisica con le strutture della cellula o direttamente col materiale genetico, che possono condurre a esiti patologici potenzialmente in tutti i tessuti od organi ed a genotossicità.