

### NOZIONI DI BASE: pericolo, rischio ed esposizione

Pericolo e rischio hanno due significati diversi, il pericolo è una caratteristica intrinseca di un agente avente il potenziale di causare danno, il rischio è la probabilità che quell'agente causi effettivamente un danno nelle reali condizioni di esposizione e di impiego.

L'esposizione è il contatto tra un agente di rischio presente nell'ambiente e il soggetto, se ne può determinare la concentrazione integrata nel tempo come il periodo di affettivo contatto ad una data concentrazione dell'inquinante nell'ambiente. Le vie di esposizione possibili sono:

- inalatoria: molto frequente negli scenari occupazionali;
- cutanea: alle volte molto importante;
- per ingestione: in generale rilevante per la popolazione generale.

Quando c'è esposizione questa diventa particolarmente rilevante qualora la sostanza sia in grado di causare danno raggiungendo l'organo bersaglio. Parliamo di:

- intake se ci riferiamo al passaggio dell'agente di rischio dall'ambiente esterno all'organismo;
- uptake se ci riferiamo al passaggio dell'agente di rischio dall'ambiente al bersaglio biologico.

La dose è invece la quantità o il livello di agente di rischio, parliamo di dose

- esterna se ci riferiamo alla quantità presente in ambiente;
- interna se ci riferiamo alla quantità assorbita dall'organismo e per cui dunque c'è stato intake;
- target se ci riferiamo alla quantità che ha superato le membrane biologiche per cui c'è stato uptake.

Conoscere la velocità di assorbimento e cioè il tempo che intercorre tra intake ed uptake è importante, ma l'assorbimento di uno xenobiotico da parte dell'organismo è un meccanismo multifattoriale: dipende dalle condizioni esterne, da quelle dell'individuo e anche da quelle della sostanza. Quello che è rilevante è la possibilità che agenti di rischio causino danno ai lavoratori, cioè alterazioni o lesioni al loro stato di salute a seguito di esposizione; pertanto, per far sì che il danno sia prevenuto è necessario fare analisi del rischio.

Norme tecniche: specifiche tecnico-metodologiche non vincolanti, approvate e pubblicate da organizzazioni nazionali, internazionali ed europee  
Buona prassi: soluzioni organizzative in accordo con la normativa vigente e adottate su base volontaria, hanno l'obiettivo di assicurare la tutela di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro, sono elaborate e raccolte dalle regioni, dall'INAIL e dagli organismi paritetici  
Linee guida: sono atti di indirizzo e coordinamento per l'applicazione della normativa vigente, predisposte dalle Regioni, dall'INAIL e dall'ISPESL oltre che da Ministeri; vengono approvate in sede di conferenza permanente per gli accordi tra Stato, regioni e province autonome.

### NORMATIVE E VALUTAZIONE DEI RISCHI, IGIENE

Nell'**art.17 del Decreto 81/2008** troviamo gli obblighi non delegabili del datore di lavoro: la valutazione di tutti i rischi, dunque la relazione del report tecnico di valutazione dei rischi e la designazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione. L'analisi del rischio di componente della valutazione del rischio, della gestione del rischio e della comunicazione del pericolo e il tutto avviene in conformità con le normative REACH e CLP, la prima si occupa essenzialmente della conoscenza del rischio, la seconda della comunicazione del pericolo e sono complementari nella gestione del rischio nonché per tutte le fasi del processo che porta ad una caratterizzazione dei rischi esaustiva negli ambienti di lavoro.

La valutazione del rischio è un'analisi quantitativa.

La caratterizzazione del rischio di componente di due passaggi principale: la valutazione dei pericoli e la valutazione dell'esposizione. Negli ambienti occupazionali per valutazione del rischio si intende l'insieme di tutte quelle pratiche metodologiche ed operative che devono essere attuate per stimare il rischio di esposizione agli agenti di rischio nella vita lavorativa. La valutazione del rischio trova la sua definizione nell'**art. 2 della 81/08** che obbliga quindi il datore di lavoro ad una valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori in tutti gli ambiti e gli ambienti in cui questi prestano la loro attività lavorativa, così da individuare gli interventi di prevenzione e protezione tesi a migliorare le condizioni e a ridurre eventuali esposizioni a pericoli per la salute e la sicurezza nel tempo.

Nella migliore delle ipotesi quello che si vuole fare è eliminare l'esposizione ad agenti di rischio per la salute o la sicurezza e questo è l'unico caso in cui l'indagine si conclude fino a cambio di condizioni di attività, se la completa rimozione del rischio non è possibile è necessario tenere i valori di esposizione ad agenti di rischio nei limiti della normativa vigente programmando controlli periodici che ne monitorino la condizione in attesa di una soluzione migliorativa, se i valori diventano inaccettabili si rendono necessari immediati interventi che migliorino le condizioni riducendo il rischio. Il processo di valutazione del rischio va fatto secondo norme tecniche, norme di buona prassi e linee guida che prevedono procedure omogenee così che ci sia omogeneità operativa.

Diversa è la posizione dell'Igienista industriale che non ha un albo ma la cui regolazione è alla **UNI EN 11711**, il cui riferimento normativo italiano - in quanto attività professionale non organizzata - è alla **Legge 4 del 2003**, l'igienista industriale è dunque colui il quale ha la responsabilità di analizzare, valutare e controllare e quindi gestire il servizio di prevenzione e protezione circa i fattori ambientali di natura fisica, chimica e biologica che derivano da attività industriale; cioè tutti i fattori che possono alterare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori e della popolazione. L'ente nazionale che rilascia il certificato di conformità alla UNI per l'esercizio della professione è l'ACCREDIA.

L'igienista industriale ha poi il compito di fare delle misure e delle valutazioni affidabili così da poter essere di supporto agli amministratori delegati e ai responsabili della tutela della salute per prendere decisioni. Di fatto il profilo base dell'igienista industriale prevede che egli sappia svolgere una valutazione iniziale per tutte le tipologie di rischio presenti dall'ambiente di lavoro, eseguire dunque un'analisi documentale così da individuare tutti i rischi e poter ipotizzare le sorgenti ed eventuali propagazioni del rischio, deve poi essere in grado di svolgere le adeguate misure per redigere un quadro completo dell'esposizione negli ambienti di lavoro e supportare l'amministratore delegato circa l'interpretazione e l'applicabilità della normativa vigente in materia di salute e sicurezza. La valutazione dell'esposizione è un passaggio cruciale nella valutazione dei rischi perché dall'entità e dal livello della stessa dipende il passaggio tra pericolo, rischio e danno. L'igienista industriale specialista è una figura specializzata in agenti fisici, chimici o biologici e può essere junior o più esperto quindi senior, questo dovrà anche essere in grado di individuare e proporre degli interventi che mirano alla riduzione dei rischi. L'igienista industriale lavora in stretta e proficua collaborazione con gli altri professionisti della prevenzione, partecipa cioè al gruppo di progetto che ha il fine di controllare e gestire i rischi di quell'ambiente di lavoro. Nello svolgimento del lavoro va seguito il codice

deontologico che prevede l'esercizio della professione nei soli campi di competenza e basandosi su sole evidenze scientifiche, operando nell'onorabilità e integrità del ruolo, assicurando la riservatezza delle informazioni che si ottengono, evitando conflitti di interesse e competenza. Si rendono necessarie conoscenze di ingegneria di processo, tossicologia, ergonomia, probabilità e statistica, normative e protezione ambientale. Le conoscenze specialistiche possono riguardare gli ambienti di lavoro per gli agenti chimici, fisici o biologico oppure gli ambienti di vita nel caso di inquinamento atmosferico, delle acque o del suolo.

L'igienista occupazionale individua, valuta e controlla i rischi per la salute negli ambienti di lavoro al fine di prevenire affetti avversi, proteggere i lavoratori e la salvaguardia della popolazione generale.

La prevenzione prevede che si mettano in atto delle misure ex ante per ridurre gli effetti avversi, si parla di prevenzione quando dato un agente c'è possibilità di esposizione che darebbe origine all'effetto. Si fa prevenzione:

- Primaria se si interviene sull'esposizione, dunque a monte della catena tossico cinetica, si fa cioè prevenzione dell'esposizione. Si valuta la dose esterna con monitoraggio ambientale.
- Secondaria se si fa diagnosi precoce, c'è già stato intake, si valuta cioè la dose interna tramite monitoraggio biologico.
- Terziaria se si prevencono le complicanze, c'è già stato uptake, va quindi considerata la dose efficace facendo sorveglianza sanitaria per evitare la morte.

La protezione riguarda invece le misure di gestione del rischio EX POST l'esposizione, per ridurre l'entità del danno.

L'igienista ambientale, invece, si occupa di prevenire, valutare e controllare i rischi per la salute della popolazione generale e la salubrità degli ambienti di vita, occupandosi cioè di qualità dell'aria, dell'acqua, del cibo, gestione dei rifiuti.

### VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Resta una fase cruciale perché da questo dipende il passaggio potenziale tra rischio, pericolo e danno oltre che dalla durata e dall'entità dell'esposizione oltre che dal soggetto esposto. L'esposizione può essere valutata secondo approcci:

- Diretti se parliamo di monitoraggio biologico e ambientale anche tramite modelli PBPK cioè studi cocinetici in condizione fisiologica:
- Indiretti se parliamo di compilare i diari delle attività o dei questionari.

La valutazione dell'esposizione prevede diversi approcci possibili che sono però gerarchizzati: monitoraggio personale, campionamento d'area, misurazione della contaminazione e modellistica microambientale, modelli di esposizione di tipo quantitativo a partire dai fattori di emissione, stime non quantitative come algoritmi e utilizzo di dati storici sito-specifici o per lavorazioni in ambienti similari.

Esiste un approccio standardizzato che si usa per fare valutazione dell'esposizione: si analizza il processo e l'impianto, si fa una stima quantitativa tra esposizione e valore limite o indice biologico di esposizione, si incrociano i valori dati ambientali e sanitari e si pianificano misure periodiche per valutare nel tempo la variabilità dell'esposizione.

L'igienista industriale deve valutare tutti i possibili rischi in un ambiente di lavoro definendo per il rischio chimico tutti gli agenti di interesse, definendo strategia e piano di campionamento, individuando gli strumenti e i sistemi adatti e facendo misure o stime precise e affidabili.

Di fatto ci si deve chiedere cosa, come, quando, dove e per quanto tempo fare il campionamento. Dipenderà tutto dal profilo tossicologico della sostanza, dall'analisi documentale ed è importante tenere in considerazione anche interferenti e livelli di fondo perché quella interessante è la sola quota parte di esposizione dovuta all'attività lavorativa.

Per la valutazione del rischio è necessario conoscere le normative 81/08, REACH, CLP, Seveso III e quella sui rifiuti. È necessario usare procedure standard e sono fondamentali conoscenze e competenze trasversali, una buona linea guida è l'esperienza.

Sono molto utili gli approcci integrati: gli algoritmi per fare screening, i modelli per analizzare l'esposizione, fare monitoraggio biologico e ambientale – utile se mi aspetto dati molto diversi – e fare sorveglianza sanitaria. Il sistema della valutazione dell'esposizione è in continua evoluzione, è necessario armonizzare tutti le procedure e i diversi valori limite di riferimento. È inoltre importante che tutti i metodi validati vengano tradotti.

### VALUTAZIONE DEL PERICOLO

Nella valutazione del pericolo si cercano tutti i possibili fattori di rischio, traendo informazioni documentali anche dalle schede tecniche materiali e di sicurezza, si compila la checklist e si individuano le priorità di monitoraggio facendo anche un sopralluogo. I pericoli a cui si fa fronte negli ambienti di lavoro sono di 3 tipi:

- Pericoli per la SICUREZZA o di natura INFORTUNISTICA, parliamo degli agenti responsabili di infortuni e menomazioni più o meno gravi e le cause sono riscontrabili in diversi ambiti, possono essere carenze strutturali circa pavimenti sconnessi, pareti attrezzati, uscite e porte in numero sufficiente rispetto al numero di lavoratori ; dovuti all'uso scorretto di macchine e apparecchi quando si verifica un uso scorretto degli organi di avviamento o di trasmissione, non in conformità con la direttiva macchine; carenza di sicurezza elettrica o antincendio o sostanze pericolose come infiammabili o corrosive
- Pericoli per la SALUTE o di natura igienistico-ambientale e si parla di agenti fisici, chimici e biologici. Questi devono essere analizzati secondo il loro profilo tossicologico e sono responsabili della compromissione dell'equilibrio bio-ambientale. Va fatta attenzione alle sostanze nocive, tossiche, alle onde elettromagnetiche, al microclima e all'illuminazione oltre che agli organismi e microrganismi patogeni la cui emissione può essere involontaria, volontaria o incontrollata
- Pericoli TRASVERSALI o di organizzazione del lavoro, di questa categoria fanno parte tutti i fattori di rischio che esulano dagli altri gruppi o che li comprendono entrambi. Parliamo perciò di una classe di pericoli da ricercarsi nel rapporto tra il lavoratore e l'organizzazione del lavoro e che trova quindi risposta in fattori organizzativi circa l'alienazione, la solitudine, il lavoro notturno che può dare problemi vascolari

oltre che fattori dovuti all'ergonomia della posizione di lavoro, a fattori psicologici che sono argomento della psicologia del lavoro e condizioni di lavoro difficili.

Va prestata attenzione a tutti i fattori di rischio perché l'esposizione, soprattutto se prolungata, può dare origine a malattia cronico degenerative. La patogenesi professionale si articola in una prima fase di latenza in cui si è in una zona di compenso fino alla comparsa dei primi sintomi reversibili, passando poi alla fase preclinica e clinica in cui insorge la malattia. I periodi di latenza variano da caso a caso, per l'asbestosi da amianto è anche quarant'anni.

### SOSTANZE CANCEROGENE e MUTAGENE

La cancerogenesi è un processo in più fasi, le cellule del nostro corpo si duplicano di continuo e non sono esenti da errori, questi vengono in genere corretti, le cellule vanno in apoptosi. La mutazione cellulare implica mutagenesi o iniziazione, step che da solo non è sufficiente a creare una massa tumorale. All'iniziazione può seguire promozione, di fatto aumenta l'attività cellulare ma siamo ancora in condizioni reversibili perché è sufficiente rimuovere il promotore per bloccare i fattori di crescita. La promozione mette però le basi alla progressione che porta allo sviluppo irreversibile di tumori.

Nel processo di identificazione del pericolo è importante conoscere i cancerogeni, che si dividono in cancerogeni genotossici ed epigenetici. Dei genotossici fa parte il benzene e sono quei cancerogeni che prevedono la modifica del DNA in fase di traduzione, provocando cioè alterazioni al DNA, aberrazioni cromosomiche o mutazioni puntiformi; a seconda che ci sia o meno attività metabolica i cancerogeni genotossici si dividono in indiretti come gli IPA, il Cadmio, il Nichel e l'Arsenic e diretti. I cancerogeni epigenetici non agiscono direttamente con il DNA ma sono dei potenziatori di attività metabolica, immunitaria e cellulare.

Esistono diverse classificazioni dei cancerogeni, vediamo la classificazione **CLP** che divide i cancerogeni in gruppo 1A, 1B e 2 a seconda dell'evidenza tra causa ed effetto. Infatti, i cancerogeni in categoria 1A sono quelli per cui ci sono evidenze che dimostrano il rapporto tra esposizione e patologia, per gli 1B la solidità del dato di cancerogenicità è meno solido ma c'è evidenza di pensare che siano elementi cancerogeni per l'uomo mentre in 2 troviamo dei sospetti cancerogeni. Per quelli in gruppo 1 il datore di lavoro ha l'obbligo di monitoraggio e gestione del rischio col fine di ridurlo nel tempo. Nel CLP troviamo i cancerogeni in gruppo 1 con la frase H350 di riferimento "può provocare il cancro" con eventuali specifiche sulla via di esposizione, al gruppo 2 troviamo invece la H351 "Sospettato di provocare il cancro".

Un'altra classificazione importante è dovuta all'autorevole organismo europeo con sede a Lione, **IARC**: i cancerogeni sono divisi in gruppo 1 per i cancerogeni di cui c'è evidenza di rapporto causa effetto, gruppo 2 diviso in 2A e 2B a seconda che sia probabile o sospetta la cancerogenicità dell'elemento, gruppo 3 se non è classificabile come cancerogeno e gruppo 4 se la sostanza non è un cancerogeno per l'uomo, in questo gruppo troviamo catalogato il solo caprolattame.

Le sostanze mutagene seguono la stessa classificazione delle cancerogene nel CLP e sono quelle in grado di fare iniziazione.

### ANALISI DELLA RELAZIONE DOSE-RISPOSTA e VALORI LIMITE

Restiamo nell'ambito della tossicologia per l'analisi della relazione dose-risposta che è quella che mi permette di quantificare il pericolo, determinando cioè l'effettiva pericolosità di un fattore di rischio nelle condizioni reali. È dalla relazione dose risposta che è poi possibile derivare i valori limite per l'esposizione occupazionale, necessari per il rilascio delle certificazioni a seconda dei livelli nei cosmetici o negli alimenti e permettono di stabilire i livelli di xenobiotici accettabili in – ad esempio - acqua o aria. La relazione dose risposta si basa sulla comparsa di affetti avversi e l'analisi può essere svolta con metodi convenzionali quindi in vivo oppure alternativi quindi in vitro e silico, così come può essere condotta a diversi livelli che siano acuti, cronici e subcronici e per tutte le diverse vie di esposizione. Va poi tenuto in considerazione che esistono dei modificatori di questa relazione, dovuti alla sensibilizzazione piuttosto che alla transizione età dipendente, i valori limite sono da intendersi per gli individui sani. L'analisi dose risposta di fa su grafici dose effetto e, se possibile, si definiscono il NOAEL cioè il livello di non effetto e il LOAEL cioè la concentrazione minima a cui si verifica l'effetto avverso. Per i cancerogeni la disciplina è più complessa perché l'effetto critico è tipicamente il tumore, quindi non esiste un NOAEL ed è l'esposizione ad aumentare il rischio al di là di durata ed entità. Si può avere un approccio deterministico che definisce una soglia, piuttosto che un approccio probabilistico che ritiene accettabile 1 caso su milione di esposti oppure l'approccio meccanicistico basato sulla teoria degli insulti. Al di là dei cancerogeni i limiti nei risultati di valori limite da considerare sono dovuti agli studi nonché ai costi. Nei valori limite sono implicitamente contenuti i dati della relazione dose risposta. Se esiste un NOAEL o un LOAEL è possibile ricavare dei valori limite health based che sono cioè basati sulla capacità di proteggere gli individui, diversi cioè dai valori limite tecnici che tengono conto primariamente dei vincoli socio economici come accade per il benzene. L'altra classificazione per i valori limite si fa tra cogenti e raccomandati.

Abbiamo quindi detto che i valori limite si derivano dalla relazione dose risposta, per gli agenti con soglia è sufficienti individuare il NOAEL o il LOAEL, meglio il NOAEL, e applicargli i fattori di incertezza valutandone la fattibilità tecnica anche in termini di monitoraggio, proponendolo alla discussione ed eventualmente valutandolo – la partenza la fanno cioè gli studi tossicologici ed epidemiologici. Fanno parte dei fattori di sicurezza: un fattore 10 tra noael e loael, un fattore 10 tra cronico e acuto, un fattore tra 3 e 10 a seconda dell'attendibilità degli studi sull'animale e così via.

Diverso è il caso dei cancerogeni che non hanno un valore di partenza e per cui si può calcolare però il rischio unitario servendosi dell'assunzione di linearità dei dati e quindi del coefficiente angolare, cioè la probabilità addizionale di contrarre un tumore che si ha se si è esposti lifetime a 1 microgrammo al metro cubo. Se questo valore è minore di  $10^{-6}$  allora il rischio è trascurabile, fino a  $10^{-5}$  è accettabile e fino a  $10^{-4}$  è tollerabile come spesso accade negli ambienti occupazionali, al di sopra il rischio è da ritenersi inaccettabile.

### MONITORAGGIO AMBIENTALE E BIOLOGICO

#### Monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale è in grado di misurare l'entità del contatto tra soggetto e agente di rischio in un determinato periodo di tempo, determinando cioè il livello di esposizione direttamente al sito di contatto. Si parla cioè di agire a valle della catena tossicocinetica. Se si conosce la concentrazione per ogni istante di tempo allora è possibile calcolare l'esposizione media e l'esposizione cumulativa. Il monitoraggio ambientale è fatto

per ogni via di esposizione, la via inalatoria è possibile per le sostanze aerodisperse ed è una via di assorbimento molto efficace perché non è evitabile. Nel caso di agenti chimici, il miglior approccio di monitoraggio ambientale è il campionamento personale mediante ciclone o campionamento aspirante. Per la via cutanea è necessario conoscere la quantità di agente chimico che si deposita effettivamente sulla cute ed è una via molto importante ma non così frequente negli scenari occupazionali. Molto più raro in ambienti di lavoro è fare un campionamento per rischio di ingestione.

Il vantaggio del monitoraggio ambientale risiede nella vasta applicabilità a quasi tutto gli agenti di rischio a meno probabilmente dei più nuovi come le microplastiche, si riescono ad ottenere delle misure quali quantitative attendibili sulla dose esterna e a discriminare sulle attività extralavorative.

Di contro potrebbe non essere rappresentativo di tutto il ciclo produttivo, si potrebbero mancare delle esposizioni significative a causa del limitato tempo di campionamento. Non è poi utile per le analisi tossicocinetiche e tossicodinamiche e valuta singolarmente ogni via di esposizione.

Su questo il monitoraggio biologico ha il vantaggio di poter riassumere in un unico dato nonché in un'unica misura tutte le esposizioni ad un dato fattore di rischio avendo cioè un dato integrato di esposizione per tutte le vie di esposizione.

Il monitoraggio ambientale è fatto con e per misure oggettive, il metodo è standard ed è importante agire in conformità riconoscendo i limiti dello strumento o del metodo scelto così da riuscire a valutare la misura quali quantitativa fatta.

L'igienista industriale deve valutare tutti i possibili rischi in un ambiente di lavoro definendo per il rischio chimico tutti gli agenti di interesse, definendo strategia e piano di campionamento, individuando gli strumenti e i sistemi adatti e facendo misure o stime precise e affidabili. Serve poi individuare i valori limiti esatti con cui confrontare l'esposizione e valutarla. Il tempo di campionamento e l'intervallo in cui si misura è un passaggio cruciale ed è inoltre importante valutare bene l'ambiente e tutti i potenziali interferenti. Spesso è il valore limite a dettare i tempi e i modi del campionamento oltre che la via di esposizione rischiosa, è importante però considerare che la misura si adatti allo strumento scelto e che sia rappresentativa.

Per il monitoraggio ambientale l'approccio migliore è il monitoraggio personale che deve essere fatto con un campionamento d'aria in prossimità delle vie aeree respiratorie superiori, vale a dire nell'emisfera di raggio 30 cm con centro a metà della distanza naso-bocca ed estensione verso la parte alta dell'individuo. Un approccio comunque valido è quello del campionamento d'area nella zona di lavoro ma bisogna accertarsi che riesca ad essere rappresentativo. Seguono le misure modellistiche della contaminazione micro-ambientale e varie forme di stime. Nell'allegato 41 della 81/08 troviamo le strategie di campionamento e i metodi di analisi per le misure di agenti chimici aerodispersi.

Per la determinazione quali quantitativa delle sostanze inquinanti posso decidere se usare uno strumento a lettura diretta, vale a dire campionare in un'unica fase tramite uno strumento che è in grado, sfruttando le proprietà chimiche e fisiche della sostanza di trasformarne la presenza in segnali strumentali; importante prestare attenzione alla sensibilità dello strumento, alla precisione dello strumento e all'accuratezza.

L'alternativa sono i metodi in differita, tipicamente metodi in due fasi che prelevano dei campioni d'aria analizzandoli in un secondo momento in laboratorio, anche in questo caso la capacità di prelevare un campione rappresentativo è cruciale.

I metodi di prelievo si dividono in:

- Diretti: permettono di campionare un volume tal quale all'ambiente, avviene con le provette che sono a volume fisso così come con le sacche che sono a volume variabile. Il campionamento non è mai però personale.
- Indiretti: evitano spostamento di grosse quantità o volumi d'aria, usano sistemi di captazione sfruttando filtri e prelevando il substrato. I sistemi indiretti possono a loro volta dividersi in:
  - attivi: generando un flusso costante e controllato mediante pompe aspiranti in genere miniaturizzate e poco rumorose se si tratta di campionamento personale; così raccolgono il substrato e il volume campionato dipende dal flusso e dal tempo di campionamento ( $V=f*t$ );
  - passivi: sfruttano le proprietà chimiche e fisiche delle sostanze; quindi, si raccoglie il substrato per gravità o diffusione ad esempio.

In ambo i casi, un parametro importante è il flusso o portata che devono essere costanti nel tempo anche se variano le condizioni ambientali, la quantità di sostanza campionata dipendono dalla concentrazione e dal flusso, per cui per raccogliere una maggiore massa di analita nell'unità di tempo bisogna aumentare il flusso. Quest'ultimo per evitare che vari serve che venga tarato in laboratorio con un flussimetro verificando che la misura e la taratura non siano modificate sul campo e che non ci siano errori dovuti alle condizioni di temperatura o pressione.

Un altro fattore importante è la durata del campionamento che va scelta a seconda del profilo tossicologico delle sostanze da campionare ma anche delle concentrazioni e delle proprietà chimiche e fisiche. Aumentare la durata del campionamento permette di raccogliere una maggior massa di analita, ma attenzione a ridurla invece se si rischia di saturare il substrato.

Dei sistemi attivi fa parte, la linea di campionamento si compone di una pompa di aspirazione, di un substrato di raccolta ed opzionalmente di contatore volumetrico, flussimetro, termometro, etc. Vediamone i possibili substrati e le possibili pompe.

I substrati possono essere a bassa resistenza quindi lavorare fino a 1 l/min oppure a resistenza maggiore, ci sono:

- I gorgogliatori che sono tipicamente in vetro per cui molto fragili e spesso scomodi per questo, oltre che perché il substrato è tipicamente un liquido come sostanze basiche o acide per campionare rispettivamente basi e volatili organici.
- Fiale o tubi dove il substrato è generalmente carbone attivo, gel di silice o allumina
- Portafiltri con filtri a membrana o in fibra che sono utili per le polveri
- Campionatori doppio corpo che si compongono dell'insieme di portafiltri, fiale e tubi utili per gli IPA in fase gas.

I sistemi di aspirazione possono invece essere:

- Pompe dinamiche centrifughe o assiali;

- Pompe volumetriche il cui movimento dell'aria è causato dal continuo riempimento e svuotamento del volume d'aria interno alla pompa;
- Pompe a stantuffo, generalmente due stantuffi contrapposti;
- Pompe a membrana, elastica e azionata da pistoni o elettromagneti;
- Pompe peristaltiche poco utilizzate in igiene industriale perché utili per le falde;
- Pompe rotative che vanno molto bene per gli alti flussi, sono pesanti e ingombranti, richiedono alte portate e prevalenze.

Ci sono dei parametri da norma tecnica che devono essere rispettati:

- Il rapporto della portata tra inizio e fine deve essere inferiore al 5% con compensazione automatica delle perdite di carico;
- Il funzionamento minimo dev'essere di 2 ore;
- Non deve esserci errore dovuto a delta di temperatura;
- Non deve esserci errore dovuto all'orientamento dello strumento;
- Deve essere resistente agli urti.

Nel caso di pompe personali con flusso superiore ai 5 l/min, bisogna anche controllare:

- Che la pulsazione del flusso sia minore del 10%

Sono campionatori a basso flusso quelli la cui portata è compresa tra 0,05 e 5 l/min, tipicamente sono usati per il campionamento personale, pesano meno di un chilo e sono indossabili e non ingombranti. Hanno in genere un'alimentazione a batterie ed è importante che se ne possa regolare e controllare il flusso e i giri del motore al di là della portata.

Sono campionatori ad alto flusso quelli con portata da 5 l/min e che pesano spesso oltre 5 chili. Necessitano di alimentazione da rete e spesso hanno un contatore volumetrico integrato, compensano le perdite di carico e possono essere dotati di accessori.

È importante controllare il flusso, per farlo gli strumenti devono essere tarati in laboratorio, lo standard primario è il flussimetro a bolla di sapone: a seconda della velocità con cui la bolla sale conosco il flusso che è quindi la derivata parziale secondo il tempo della velocità. La calibrazione delle portate avviene tipicamente a 20 gradi celsius e 1 atmosfera, se le condizioni del luogo di campionamento cambiano sensibilmente è opportuno correggere il volume: 
$$volume\ corretto = \frac{temperatura\ di\ riferimento * pressione\ attuale}{temperatura\ attuale * pressione\ di\ riferimento}$$

Il **titolo 11 della 81/08** impone la misurazione delle sostanze pericolose che possono presentare un rischio per la salute a meno che non si possa dimostrare l'adeguata prevenzione e protezione. In sezione 2 è fatta una specifica per i cancerogeni e i mutageni, in normativa tecnica si segnala il calcolo per l'incertezza della misura come indice di incertezza globale  $IG = \frac{|\text{valore medio su almeno 6 misure} - \text{valore di riferimento accettato}| * 2\sigma}{\text{valore di riferimento accettato}} * 100$

Particolarmente importante è la norma **UNI 689**.

#### Monitoraggio biologico

La differenza sostanziale è che parliamo già di prevenzione secondaria e terziaria, perché l'analita o il suo metabolita dev'essere già attivo nel metabolismo dei lavoratori. La differenza la fanno i biomarcatori che cerco, l'azione tossica di una sostanza è la conseguenza dell'interazione della sostanza chimica con le molecole bersaglio che vengono alterate e intossicate. Affinchè le procedure di monitoraggio biologico vengano considerate valide è necessario conoscere il processo di biotrasformazione e le alterazioni biologiche possibili, l'effetto critico e devono esserci appropriati valori di riferimento con cui confrontare gli indicatori biologici di esposizione. Gli indicatori biologici sono validi se sono sensibili e specifici. Abbiamo indicatori di:

- Esposizione: cerco la dose interna, esistono indicatori di accumulo che vanno bene per xenobiotici bioaccumulabili;
- Effetto: valuto l'effetto precoce e ancora reversibile dovuto all'esposizione, alterazione delle attività cellulari piuttosto che aberrazioni;
- Suscettibilità: sono modulatori di effetto che influiscono sulla capacità dell'agente di causare danno, grazie a questi indicatori si riesce a misurare il rischio specifico del singolo lavoratore.

L'articolo 229 del decreto 81/2008 stabilisce che il monitoraggio biologico è obbligatorio per i lavoratori esposti a sostanze le quali hanno un valore limite biologico, ad oggi solo il piombo. È importante su questi prestare attenzione alle note:

- B se bioaccumulabili;
- NQ se dati insufficienti;
- NS se non si riesce a discriminare con gli interferenti;
- SQ se l'interpretazione è ambigua.

Nel caso di campionamento biologico è importante il momento del campionamento perché è determinante la catena tossicocinetica. Gli interferenti sono diversi, dalle abitudini alimentari allo stile di vita e non si può discriminare tra esposizione lavorativa ed extralavorativa.

I vantaggi del monitoraggio biologico derivano dalla possibilità di avere un dato integrato sia nel tempo che per tutte le vie di esposizione, si può tenere conto delle caratteristiche del singolo lavoratore e si hanno dei dati di riferimento per la popolazione generale con cui confrontare le misure. È importante la figura del medico competente.

Intorno nascono dalla carenza di dati, i fattori extra occupazionali possono essere determinanti e spesso la strumentazione è molto costosa.

#### Approccio integrato

I monitoraggi combinati e integrati sono molto utili, ad esempio, nei casi di DPI se mi aspetto valori molto diversi.

### ALTRI METODI DI MONITORAGGIO: modelli di stima e algoritmi

Si può fare monitoraggio anche tramite modelli di stima che sono comunque quantitativi, il modello ART si basa su 9 fattori compilabili, naturalmente si perde in accuratezza. Ne esistono diversi però approvati dall'UE, validati dalla letteratura scientifica ed epidemiologica e dalle applicazioni. Importante nel caso di modelli di stima conoscere l'incertezza del modello e serve una buona qualità dei dati in input. Stimano comunque un dato medio, hanno il limite di non essere universalmente applicabile nei domini.

Gli algoritmi non hanno invece valore predittivo ma possono risultare utili nei contesti di piccole imprese, consentono una stima approssimativa del rischio anche se non science based. Solitamente il rischio è misurato come prodotto di un indice P di pericolosità e del fattore E di esposizione. L'indice P dipende dal valore attribuito alla frase H a cui l'agente corrisponde nel CLP, mentre il fattore E è dovuto alle proprietà chimico fisiche, alla quantità e tipologia d'uso e di controllo e al tempo di esposizione. Se l'operatore è a distanza dalla sorgente il valore dell'indice del tempo di esposizione può arrivare a decimarsi se sussistono distanze superiori ai 10 m. Da questi dati si misura il rischio per il singolo lavoratore e si costruiscono delle matrici per ciascuna lavorazione. Per i preparati si considera la somma degli effetti dei componenti, in concordanza con il principio di precauzione le stime degli input devono essere peggiorative se non sono certe.

Gli algoritmi risultano anche utili in casi di situazioni complesse, come strumento di screening così come per individuare le priorità di monitoraggio in un piano di controllo. Hanno il vantaggio, almeno i più semplici, di essere freeware; ma algoritmi diversi possono dare risultati diversi, il che dimostra la loro inaffidabilità scientifica.

### UNI 689

È la normativa tecnica europea, definisce una strategia per effettuare misure rappresentative dell'esposizione per inalazione fa agenti chimici di modo da dimostrarle la conformità con gli OELVs, non è però applicabile a monitoraggi e valori sotto i 15 minuti.

La 689 di fatto non è esaustiva perché mancano il monitoraggio biologico così come l'esposizione dermica per avere un quadro complessivo dell'esposizione.

La valutazione dell'esposizione, però, in conformità con la UNI EN 689 parte dal confronto con il valore limite: si fa una prima operazione di screening e non si procede se e solo se si supera il valore limite, oppure il valore rilevato è inferiore al 10% del valore limite su 3 misure, al 15% su 4 o al 20% su 5. Se così non è si passa al compliance test, si raccolgono dati e si fa un test statistico per verificare l'accettabilità dei valori di esposizione. Per valori limite si intende la media ponderata nel tempo sulle 8 ore o in un riferimento di almeno 15 minuti.

I valori limite si dividono in:

- Health based se esistono comprovate evidenze tossicologiche, epidemiologiche e scientifiche del rapporto causa effetto e dell'assenza di effetto sotto una certa soglia. Sono fatti per tutelare la salute della popolazione esposta ma non considerano le condizioni di suscettibilità o quella derivante da età o caratteristiche ereditarie e fisiologiche. Eventuali rischi accessori e aggiuntivi sono da valutarsi da parte del medico competente assieme eventualmente alle misure aggiuntive da intraprendere.
- Tecnici se tengono conto delle condizioni socioeconomiche e dei vincoli di fattibilità della scelta del valore limite come accade per esposizione della popolazione generale e occupazionale a benzene.

Valori limite vincolanti:

- I valori limiti legalmente vincolanti in Italia sono gli OELVs fissati dalla normativa EU su cui si basano i VLEPs per l'esposizione professionale principalmente per esposizione inalatoria, sono 110 contenuti nella 81/2008 e approvati dai Ministeri di salute, politiche sociali e lavoro e OSHA PEL.
- I valori limite sovranazionali sono i BOELVs, possono essere anche valori tecnici e riguardano le sostanze cancerogene, mutagene e reprotossiche o sensibilizzanti come le polveri di legno duro, il benzene e il cloruro di vinile. Gli stati membri possono fissare i propri ma non possono superare questi.

Ci sono anche valori limite non vincolanti ma raccomandati da esperti, enti, comitati e istituti:

- Nella REACH trovo i DNELs e DMELs che sono legati alla normativa di prodotto europea, sono health based alla sostanza, al di sotto non si verificano effetti avversi per cui non ci si deve esporre oltre, sono certificati dalle case produttrici;
  - I TLVs sono valori limite generalmente health based promossi dall'ACIGH, inseriti in genere nei contratti e molto utilizzati in Italia. Possono diventare vincolanti se c'è un accordo tra le parti. Si dividono in:
    - TLV TWA cioè la concentrazione media ponderata nell'ambiente di lavoro per 8 ore lavorative, 5 giorni alla settimana, per tutta la vita lavorativa senza riportare danni
    - TLV STEL che sono concentrazioni medie ponderate su 15 minuti; quindi, sono tipicamente maggiori dei TLV TWA ma non devono comunque essere superato per più di 4 volte al giorno e comunque a distanza di almeno un'ora. Non esistono per molte sostanze, per cui non si possono escludere effetti ad esposizioni acute. Assenza di evidenza non è evidenza di assenza.
    - TLV CEILING che è il valore limite che non deve mai essere superato, si applica in genere in assenza dei due precedenti.
- Non deve mai essere superato per oltre 5 volte il TLV TWA ed esposizioni a 3\*TLV TWA non sono accettabili per oltre 30 miuti. I TLV si misurano in parti per milione ppm dove  $1ppm = \frac{\text{concentrazione} \cdot 24,45}{\text{peso molecolare}}$  perché 24,45 litri è il volume occupato da un gas a 25 gradi, 1 atm. Ci sono delle note che possono essere affiancate ai TLV: cute se la via di esposizione cutanea è rilevante, IBE se esiste un indicatore biologico in grado di riassumere le vie di esposizione, sen se la sostanza è sensibilizzante e il valore è comunque riferito a individui non sensibilizzati.
- Nel caso di miscele si somma la frazione dei componenti rispetto ognuna il suo valore limite, se si supera la somma 1 c'è esposizione non tollerabile dal punto di vista sanitario.

- Gli IOELVs sono proposti da un gruppo interdisciplinare di esperti sulla base di un processo di revisione accurata della letteratura scientifica, non sono vincolanti e devono essere considerati quando si scelgono i cogenti nazionali.

Il quadro è complesso perché ci sono più valori limite per la stessa sostanza, motivo per cui è necessario il risk assessor per valutare caso per caso, è fondamentale la collaborazione con tutte le figure della prevenzione. L'approccio dev'essere cautelativo e la guida principale deve essere la UNI 689, ricordando che questa non è esaustiva e sapendo che ci si riferisce a:

- Profilo di esposizione se si parla della descrizione delle variazioni di esposizione di un lavoratore ad una certa concentrazione, per ogni attività svolta e ciascuna per ogni suo periodo di riferimento.
- Gruppi di esposizione simile o SEG l'insieme dei lavoratori aventi in comune il profilo di esposizione.

La premessa della valutazione dell'esposizione è nell'ottica di ridurre al minimo gli errori decisionali e lo spreco di risorse prevenendo però tutti i danni per la salute. È necessario monitorare secondo solidi criteri di validità e rappresentatività generale.

La 689 prevede che i SEG siano costruiti sulla base di valutazioni da farsi sul profilo di esposizione dei lavoratori e sulla durata delle operazioni nell'anno lavorativo. La validazione dev'essere fatta passando da test statistici, servono perciò almeno sei misure per i test statistici e cinque per il test preliminare. Si parte stabilendo le SEG per cui serve una buona interpolazione quindi una misura dell' $R^2$  che sia prossima a 1, si possono anche usare dei test di controllo di lognormalità come lo Shapiro Wilk; si consiglia un test statistico perché più potente in caso di campioni ridotti. Il test preliminare può concludere la valutazione se esiste anche solo un dato superiore all'OEELV, oppure si conclude la conformità se si è al, 10% del valore limite su 3 misure, del 15% su 4 o del 20% su 5 misure. Se no si procede, appunto con il test statistico, si validano i SEG anche per ottimizzare i costi e si arriva a decisione in conformità con quanto riportato dai valori limite per confronto con le misure. Le misure devono seguire le procedure standardizzate, per cui se un valore limite si riferisce alle 8 ore servirà campionarne almeno 2 e se l'esposizione non è costante si campiona per un tempo che sia il più possibile vicino all'intera durata del turno. Fatta la valutazione questa va aggiornata tutte le volte che si cambiano le condizioni del ciclo produttivo.

### REACH E CLP

Per fare risk assesment è necessario farsi guidare dal CLP per la comunicazione dei pericoli, dal REACH per l'analisi del rischio e dalla loro complementarità per poter gestire il rischio in modo ottimale. La classificazione delle sostanze è perciò fondamentale nella REACH e se questa cambia allora devono cambiare anche le schede di sicurezza, le relative frasi e pittogrammi previsti dal CLP.

REACH riguarda la fabbricazione, l'importazione, l'immissione sul mercato e l'uso di sostanze in quanto componenti di miscele o oggetti, si basa sul principio per cui spetta ai fabbricanti e ai commercianti l'onere della prova cioè la verifica che non si verifichino effetti dannosi per l'uomo o per l'ambiente aventi per oggetto la sostanza o la miscela che producono o commercializzano; vale a dire che la responsabilità spetta alle persone fisiche o giuridiche in esame. A loro spetta il compito di raccogliere i dati, generarne se servono, valutare i rischi specificando eventuali misure da attuare per gestirne i rischi, preparando il fascicolo di registrazione da presentare all'ECHA. La registrazione va fatta per tutti gli elementi che vengono movimentati per oltre una tonnellata l'anno tramite un fascicolo che ne specifica tutte le informazioni, le sostanze già presenti si dicono phase in e non sono soggette alle scadenze della vera prima fase richiesta dal REACH che è la pre registrazione, in quel contesto c'è la possibilità di condividere eventuali studi o informazioni aggiuntive sulle sostanze, partecipando ad un forum; l'obbligo vige invece per eventuali studi fatti sugli animali vertebrati. Se il tonnellaggio di una sostanza supera le 10 tonnellate l'anno, serve allegare anche la valutazione della sicurezza chimica così come per le sostanze pericolose. Queste informazioni hanno lo scopo di caratterizzare il rischio, di individuare cioè l'identità e le proprietà così da assicurarne l'uso sicuro. Se la sostanza rientra in una categoria di pericolo deve essere certificata come tale e l'analisi di sicurezza deve includere la valutazione dell'esposizione e la caratterizzazione del rischio. Serve nella fase di valutazione dell'esposizione ipotizzare gli scenari in cui la sostanza può essere utilizzata definendone i valori di esposizione e i potenziali danni a seconda degli usi. Gli scenari di esposizione sono fondamentali e devono considerare tutto il ciclo di vita del prodotto. Ciascuno scenario di esposizione deve quindi comprendere le eventuali misure necessarie di gestione del rischio, se non fosse possibile per un qualche scenario di esposizione quello stesso scenario viene eliminato dai possibili usi. Il REACH tiene conto se indicato dell'utilizzo di DPI o degli impianti di ventilazione. Si definisce allora il rapporto di caratterizzazione del rischio RCR=Livello di esposizione stimato / DNEL oppure Concentrazione Ambientale Stimata/ concentrazione senza effetti: il problema si pone per  $RCR > 1$ . Il REACH resta una normativa di prodotto per cui il monitoraggio specifico in azienda è comunque necessario e il processo di caratterizzazione del rischio è iterativo finché il rischio non viene gestito. Viene così redatto il dossier tecnico di ogni sostanza, consultabile nella scheda di sicurezza estesa dove si trova se esiste la scheda di rischio chimico. Fatta la registrazione, l'ultima fase è l'autorizzazione che mira a garantire che i rischi derivanti dalla sostanza negli scenari finali di esposizione sono gestiti. Ogni autorizzazione ha una sua scadenza.

CLP che entra in vigore globalmente nel 2009, abrogando le precedenti norme. CLP sta per classificazione, etichettatura e imballaggio e garantisce che i pericoli che derivano dalla sostanza siano correttamente comunicati a lavoratori e consumatori. Grazie a CLP i pericoli delle sostanze chimiche vengono commercializzate con frasi standard di pericolo e pittogrammi. Il CLP non si applica per intermedi non isolati, sostanze radioattive e di solo interesse scientifico non immesse sul mercato. È possibile come stato membro proporre una nuova classificazione delle sostanze tramite apposito dossier. Comunicare bene i pericoli è indispensabile per gestire i rischi, in molti casi c'è autocertificazione da parte del produttore. Il CLP prevede norme standard per l'imballaggio al fine di assicurare la consegna in sicurezza di materiali pericolosi. Le miscele devono essere considerate nel loro complesso e gli intermedi valutati solo se previsto dal REACH, in assenza di dati consuntivi si può usare il principio di collegamento tra sostanze simili. Vanno etichettate seguendo il CLP tutte le sostanze pericolose, esplosive, le miscele che contengono anche solo una sostanza così definita anche se non lo è nel suo complesso.

### AEROSOL

Gli aerosol sono una miscela in fase gassosa, l'esposizione umana è estremamente eterogenea per composizione, dimensione, pericolosità e sorgenti. Gli aerosol possono avere origine primaria se direttamente emessi o secondaria se prodotto di reazioni di tipo ad esempio atmosferico. Negli ambienti di lavoro si rende importante lo stato fisico degli aerosol poiché da questo dipende la loro capacità di deposizione e pericolosità. Un aerosol viene chiamato:

- Fumo se si tratta di un gas in cui sono disperse particelle allo stato solido che provengono da processi termici, tipicamente dalla combustione per condensazione della fase vapore di una sostanza prima solida
- Nebbia se si tratta di un gas in cui sono disperse particelle allo stato liquido provenienti dalla condensazione di sostanze prima liquide, è il caso delle nebbie acide
- Mist che sono caratterizzati da particelle piuttosto grossolane che non stazionano per lunghissimi tempi in atmosfera, vengono tipicamente dalla manipolazione di materiale liquido
- Smog che è costituito da particelle solide e liquide generate dalla condensazione della fase vapore di una sostanza in origine liquida.

È fondamentale definire il diametro aerodinamico ed equivalente per definire il trasporto e la deposizione nell'aria nonché la possibilità e probabilità di assorbimento da parte dei polmoni.

- Diametro equivalente: diametro calcolato come media ponderale dei valori massimi, minimi e intermedi dei diametri di particelle non sferiche approssimate a particelle sferiche
- Diametro aerodinamico: diametro fittizio che una particella di densità  $1\text{g/cm}^3$  avrebbe a parità di caduta con la particella in esame se fosse sferica. Può essere molto diverso dal diametro geometrico.

L'analisi dimensionale diventa utile per definire il metodo di campionamento che può avvenire sfruttando la diffusione browniana per basse velocità delle polveri, la sedimentazione per diametri superiori al micrometro, inerzia per equilibrio con forze derivanti da brusche deviazioni dovute ad ostacoli e forze elettrostatiche.

Il diametro degli aerosol è responsabile della classificazione sanitaria della frazione:

- Inalabile cioè le particelle aerodisperse caratterizzate da un diametro aerodinamico di taglio al 50% di 100 micrometri, frazione inalata tramite naso e bocca
- Toracica cioè le particelle aerodisperse caratterizzate da un diametro aerodinamico di taglio al 50% di 10 micrometri, frazione che penetra oltre la laringe e raggiunge la zona tracheobronchiale e alveolare.
- Respirabile cioè le particelle aerodisperse caratterizzate da un diametro aerodinamico di taglio al 50% di 4 micrometri, frazione che penetra nelle vie respiratorie non ciliate cioè in zona alveolare. Questa è la frazione di massimo interesse per le lavorazioni che contemplano l'uso di materiali con azione specifica sulle vie respiratorie, sui polmoni in zona alveolare come la silice cristallina.

La divisione di interesse ambientale è fatta sul particolato atmosferico per: PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> secondo una distinzione per il diametro aerodinamico di taglio al 50%.

Per il campionamento degli aerosol si usano i separatori che selezionano le particelle di interesse a seconda del diametro aerodinamico, sono caratterizzati da un orificio di ingresso da cui dipende l'efficienza di ingresso a seconda di quante delle particelle presenti riescono effettivamente ad essere captate.

- Un tipo di separatori sono i cicloni che sono statici e in cui il gas portante l'aerosol viene fatto ruotare attorno all'asse centrale separando le particelle per forza centrifuga. È importante che la portata in ingresso sia costante.
- Gli impattori inerziali causano invece una brusca deviazione del gas portante l'aerosol permettendo l'adesione delle particelle con maggiore inerzia all'ostacolo.
- Gli impattori a cascata permettono invece il campionamento e la separazione simultanea di più frazioni a seconda del diametro aerodinamico tramite filtri removibili utilizzabili per analisi gravimetriche.

Le polveri hanno azioni diverse se vengono inalate e sono distinguibili in polveri

- Non pneumoconio gene che hanno azione elettiva su un organo specifico oltre che sul sistema respiratorio per cui restano in circolo
- Pneumoconio gene che esplicano la loro azione solo sul sistema respiratorio e si tratta di silice cristallina, amianto, ossido di alluminio.

Il campionamento degli aerosol nella prassi occupazionale deve sempre avvenire con metodi indiretti in cui si raccoglie il substrato. L'aria ambiente viene aspirata e gli aerosol separati con separatori. Il tempo di monitoraggio va dalle 2 alle 8 ore e bisogna condizionare le membrane e fare la pesata gravimetrica prima e dopo il campionamento accertandosi che il delta flusso non sia stato superiore al 5%. È importante usare le membrane corrette, non eccedere nella raccolta dell'inquinante se si rischia di sovraccaricare il campione, monitorare il flusso e preoccuparsi delle interferenze che possono essere le perdite di carico, di parete o quelle elettrostatiche.

Il particolato atmosferico ha effetti dannosi sull'ambiente, sulla salute dell'uomo e della biodiversità, ma le metodiche per valutare il rischio di esposizione sono diversi nel caso di ambienti di vita o occupazionali poiché diverse sono le esposizioni e gli obiettivi.

Se la sostanza esercita la sua azione problematica su organi bersaglio sarà di interesse la frazione inalabile come avviene per le polveri di legno duro, è necessario alle volte controllare le concentrazioni dell'inquinante in atmosfera per occuparsi della sola esposizione occupazionale e non del fondo; serve fare delle misure e confrontarle con i valori limite.

## ASBESTI

Gli asbesti sono minerali accomunati dall'abito cristallino che conferisce loro struttura fibrillare, flessibile e resistente agli sforzi meccanici. Sono di origine naturale e per questo esclusi dalla REACH, nonostante ciò sono però dannosi perché la loro morfologia permette loro di restare a lungo sospesi in atmosfera. Parliamo di fibre capaci di raggiungere la zona alveolare; sono in categoria 1A del CLP, l'unica via di esposizione è quella inalatoria. Gli asbesti sono stati centrali nella produzione per le loro caratteristiche e per l'economicità di estrazione, sono poi termicamente isolanti, orrini refrattari e ottimi in resistenza ad alcuni tipi di sforzi, possono essere filati e quindi potevano essere utilizzati per tessuti ignifughi. Le sostanze contenenti amianto

sono state censite e se ne costano oltre 3000, generalmente sono friabili, motivo per cui sono pericolosi: le fibre di asbesto sono incapsulate in una matrice debole per cui il minimo stress meccanico porta al rilascio di fibre. Meno preoccupante è la situazione del cemento amianto, compatto, che, a meno ad esempio di agenti atmosferici, non causa la dispersione di fibrille; attenzione all'amianto esposto agli eventi atmosferici perché le piogge acide possono causarne il rilascio, le fibre sedimentano al suolo e se soggette a stress meccanico portano ad inquinamento secondario. Distinguiamo l'amianto in:

- Il Crisotilo che fa parte del gruppo serpentino che raggruppa i minerali della forma  $Mg_3 Si_2 O_5(OH)_4$  che sono filosilicati e hanno due unità dimensionali, uno strato tetraedrico e uno ottaedrico giustapposti e di dimensioni diverse. La dimensione del diametro è pari a circa una ventina di nanometri, delle nanofibre in fasce. Il crisotilo è l'asbesto più usato industrialmente, molto resistente agli alcali ma meno agli acidi, motivo per cui dopo del tempo l'organismo è in grado di smaltirlo. È il maneggiamento meccanico che porta le fibre a disperdersi.
- Gli asbesti da anfibolo appartengono al gruppo degli inosilicati, caratterizzati da una polimerizzazione dei tetraedri in doppie catene, la sfaldatura produce dei cristalli tipicamente allungati. Sono resistenti alla temperatura, agli acidi e alle basi, motivo per cui diventano irrimovibili dal polmone, sono perciò bioaccumulabili, per cui possono essere un buon indicatore biologico di esposizione.

L'amianto è un problema perché ha un profilo tossicologico preoccupante, causa:

- Placche pleuriche che non sono una vera e propria patologia in quanto asintomatiche, non compromettono la funzionalità respiratoria e non degenerano ma sono visibili in radiografia come delle ombre nella pleura, testimoniano un'esposizione pregressa anche a basse concentrazioni ma dipendono dall'esposizione cumulativa, il tempo di latenza dell'effetto è di circa 13 anni.
- Asbestosi, una fibrosi del polmone che genera depositi di collagene che compromettono il passaggio di ossigeno nel sangue che porta alla morte, si manifesta ad alte dosi di esposizione; ha però un NOAEL in termini di concentrazione cumulativa.
- Neoplasie, parliamo di tumore al polmone che non è però specifico degli asbesti per cui non c'è una dose risposta e parliamo di mesotelioma che è invece specifico dell'amianto. Il mesotelioma ha reso il problema dell'amianto un vero problema di salute pubblica, è un tumore a livello delle sierose e si manifesta anche a basse dosi, è una patologia incurabile con tempo di latenza che va dai 25 ai 45 anni, è comunque rara tra gli esposti.

L'amianto è vietato da una trentina d'anni ed esiste un registro degli ex esposti e un registro di chi ha contratto il mesotelioma, tipicamente esposti occupazionali, loro familiari e cittadini residenti in zone esposte. Ad oggi gli esposti di tipo professionale sono dovuti a coloro che si occupano di bonifica, cioè rimozione e demolizione nei casi critici, se il materiale è perfettamente integro e non può rilasciare fibre come nei casi di vinile amianto di fa solo controllo periodico, si può anche decidere di confinare la zona contenente amianto.

Per la caratterizzazione del rischio esiste un valore limite di esposizione professionale VLEP di 0,1 ff/cc per tutti gli amianti, si misura il numero di fibre perché molto più significativo della massa inalata per descrivere il potenziale danno alla salute umana. Negli ambienti indoor il valore limite è 0,002 ff/cc per tutti gli amianti. In caso di esposizione non è possibile il monitoraggio biologico perché è un cancerogeno, ma solo ambientale e in quanto aerosol deve essere fatto con metodi attivi indiretti, per cui campionatori aspiranti indossabili con substrati che raccolgono tutto il particolato in zona respiratoria, si fa allora analisi microscopica e il numero di fibre lo conta l'occhio umano, il possibile danno è dovuto a fibre più piccole di 3 micrometri, più lunghe di 5 e con rapporto di elongazione superiore a 3. Le tipologie di campionamento fanno capo al decreto ministeriale del 6 settembre 1994, si ricorre quindi al metodo standardizzato che prevede filtri a membrana perché in grado di trattenere tutto il particolato ed è piano quindi analizzabile al microscopio. L'OMS segnala un altro metodo possibile che è ammesso dalla 81/08 e prevede la quantificazione della concentrazione atmosferica di asbesto con microscopia ottica, la cui alternativa è quella elettronica.

- Microscopia ottica: lavora ad ingrandimenti minori dell'altra, non discrimina le fibrille elementari ma le analisi sono più veloci e meno costose, ottime per lo screening. Devo campionare almeno 480 litri d'aria su membrana 25 mm di diametro in estratti di cellulosa senza avere però la certezza di riconoscere (solo) l'amianto.
- Microscopia elettronica: è molto specifica. Devo campionare almeno 3000 litri.

La legge prevede che negli ambienti di vita e di lavoro si faccia il censimento dell'amianto ispezionando i luoghi e compilando schede, acquisendo documentazione fotografica per redigere una mappa di presenza e assenza, è fondamentale individuare i materiali friabili che sono i primi da sottoporre a bonifica.

#### SILICE CRISTALLINA

La silice cristallina è di recente entrata a far parte della categoria 1 per l'EU, nonostante fosse in gruppo 1 IARC già dal '97; dunque, adesso c'è l'obbligo di fare misure per il datore di lavoro; questo comporta anche l'apertura del registro degli esposti quindi lavoro aggiuntivo non solo per il datore di lavoro e l'igienista industriale ma anche per il medico competente. La silice cristallina è polimorfa, abbiamo il quarzo, la tridimite e la cristobalite, stabili in condizioni di temperatura e pressione diverse, motivo per cui va prestata attenzione ad eventuali gradienti nei cicli tecnologici, specialmente nei casi di silice amorfa spesso presente nei mattoni refrattari. Il quarzo è il secondo materiale più presente sulla Terra e gli esposti a silice cristallina riguardano i lavoratori di edilizia, fonderia, agricoltura e svariati ambiti. Si tratta di un cancerogeno e l'effetto critico è riscontrabile già a basse dosi, è cancerogena per il polmone solo la frazione respirabile perché il bersaglio sono gli alveoli. Altra patologia mortale dovuta alla silice cristallina è la silicosi, una fibrosi polmonare che modifica la normale struttura polmonare e può dare insufficienza respiratoria e scompenso cardiaco. Il quarzo interferisce con il sistema immunitario per cui è responsabile di alcune malattie autoimmuni ma anche renali ad alte dosi. Il valore cogente è in allegato 43 della 81/2008 e fissa il valore limite di silice cristallina respirabile a 0.1 mg/m<sup>3</sup>. Il TLV TWA è 0.025, un limite difficile da rispettare per le lavorazioni che conosciamo. Il campionamento da farsi è di tipo ambientale, personale e attivo. Voglio solo la frazione respirabile per cui ho bisogno di un ciclone o di un impattore e il filtro deve poi essere analizzato con tecniche idonee, anche se risultano poco sensibili, ho bisogno dell'1% in peso per cui si campiona al più alto flusso possibile e poi si fa:

- La diffrattometria X cioè DRX per polveri che è una tecnica non distruttiva
- La spettrofotometria a infrarossi cioè TFIR. I TFIR portatili sono parte di uno studio portato avanti da igienisti americani, utili nelle miniere dove un dato near real time permette di fare prevenzione alle alte concentrazioni.

Posso decidere di fare analisi diretta per cui campiono per 8 ore su filtro di diametro massimo 25 mm, mi aspetto basse concentrazioni.

Posso decidere di fare analisi indiretta lavorando a 10 l/min, devo però trattare il substrato in laboratorio con metodo distruttivo per cui rischio di perdere informazione. La procedura è lunga e costosa.

Per una buona valutazione dell'esposizione alla silice cristallina è necessario prestare attenzione alle alte temperature nel ciclo produttivo, soprattutto se ci sono fibre ceramiche che sono allumino silicati che devetrificano ad alte temperature pur entrando in azienda come silice amorfa. A livello analitico è sempre bene cercare anche tridimite e crisobalite oltre al quarzo, la somma costituisce il vero valore di esposizione del lavoratore a silice cristallina.

Una tecnica promettente è la spettrometria RAMAN che non è ancora stata validata e prevede la deposizione sul filtro in modo puntiforme, ma servono nuovi metodi di campionamento che lo permettano.

È necessario lo sviluppo di strumentazione sensibile in quanto per usare i metodi standard attuale è spesso necessario campionare su più giorni, per questo è necessaria esperienza igienistica e cristallografica; è auspicabile innovazione.

### POLVERI DI LEGNO DURO

Parliamo di aerosol solidi dell'industria del legno, in Italia il settore è gremito di piccole e medie imprese e questo costituisce alle volte ostacolo alla valutazione del rischio. La distinzione sulla pericolosità delle polveri di legno lo fa la pianta di origine e la sostanza estraibile:

- Latifoglie cioè angiosperme che danno origine a legni duri da cui si estraggono tannini
- Conifere cioè gimnosperme che danno origine a legni teneri da cui si estraggono terpeni

Tannini e terpeni, sostanze estraibili, sono quelle che hanno impatto sulle caratteristiche tossicologiche, sono responsabili di azioni sensibilizzanti e irritanti. La classificazione rilevante in igiene industriale è quella della compattezza per cui si divide tra legni duri e legni teneri, si è fissata un'unica soglia che divide due categorie ma sono in realtà presenti tutte le sfumature del caso. Legni più densi sono più cancerogeni.

Il ciclo produttivo dell'industria del legno si compone di: silvicoltura poi segagione dei tronchi poi produzione di tronchi da sega poi lavorati in segheria per ottenere lastre, pannelli e semilavorati poi trasformazioni che portano alla trasformazione fino al mobile e riutilizzo di eventuali sfridi e scarti.

Nell'industria del mobile si fa sezionatura con strumenti ad alta velocità lavorando per asportazione del truciolo, incollaggio e lavorazioni meccaniche, carteggiatura e levigatura. Tra queste, quelle in cui compaiono aerosol solidi diventano rilevanti in termini di pericolo, più piccolo è il diametro aerodinamico delle particelle emesse e maggiore è il rischio. È per questo che il maggior problema di esposizioni a polveri di legno duro lo abbiamo nei mobilifici, nella costruzione di botti e cornici, nella cantieristica navale; tutte le azioni meccaniche generano polveri che hanno un diametro medio tra i 10 e i 30 micrometri, nei casi di levigazione si arriva anche a 7: fa tutto parte della frazione inalabile, l'organo bersaglio sono infatti le prime vie aeree.

La dispersione in ambiente delle polveri crea anche problemi per la sicurezza. Attenzione anche alla possibilità che il legno sia pretrattato per cui potrei avere altre esposizioni rilevanti.

Il campionamento dev'essere personale, con preselezione della frazione inalabile ed è importante usare un filtro idoneo poiché più è pesante più è probabile fare errori, la portata è obbligata dal dispositivo. I filtri devono essere stabilizzati 24 ore prima della pesata per fare pesata differenziale e si lavora in condizione di temperatura e pressione controllata perché questi sono interferenti assieme all'umidità, alle cariche elettrostatiche, alle vibrazioni.

I substrati utilizzabili sono:

- Filtri in fibra di vetro che però sono molto fragili
- Filtri in pvc che sono molto leggeri e sottile ma il pvc è fortemente elettrostatico
- Filtri di esteri di cellulosa cioè a membrana che però sono fortemente igroscopici

Quello che riesce a fare la differenza sono gli impianti di ventilazione e strumenti dotati di sistemi di ventilazione integrata, l'aria dev'essere poi depurata ed evacuata in ambiente esterno.

Esiste un modellino predittivo mediante regressione lineare multipla che si è dimostrato molto affidabile nel supporto alla valutazione dell'esposizione a polveri di legno.

Attenzione ad alcuni legni che sono potenti sensibilizzanti, causano reazioni di tipo allergico come asma a livello respiratorio e dermatiti a livello cutaneo; di solito è il caso di legni tropicali e vernici.

L'inalazione può portare a tumori alle fosse nasali e ai seni paranasali, per gli esposti professionalmente la probabilità sale da 1 a 50-90 casi ogni 100.000 lavoratori.

Questi adenocarcinomi sono molto più frequenti nei mobilifici e nei lavoratori maschi, il periodo di latenza è di circa 20 anni e pur essendo significativo il rischio per esposizioni al di sotto dei 5 anni la correlazione è positiva per durata ed entità dell'esposizione. Tumori a laringe, faringe e nasofaringei sono sospettati effetti anche se non confermati a causa della presenza di probabili interferenti di valutazione.

In Italia si tende ad importare materie prime e ad esportare prodotti finiti. In questo settore non è l'unico agente di rischio a cui sono esposti i lavoratori, si aggiunge il fatto che si usano strumenti ad alte velocità per cui ho vibrazioni trasmesse al sistema mano braccio, problemi di rumore se non si utilizzano correttamente i DPI, rischio chimico un po' più ampio dovuto anche ad utilizzi scorretti come l'interposizione tra bocchette di

captazione e sorgente piuttosto che l'esposizione ad IPA per combustione, ad antimuffe, antitarlo, vernici e colle. Nella fase della silvicoltura potrei avere anche rischio biologico dovuto a microrganismi, spore fungine, muffe; per gli agenti biologici non c'è una dose di non effetto.

Il VLEP italiano per il legno duro inalabile è  $2 \text{ mg/m}^3$  in vigore dal 2020; innovare per rimpiazzare le lavorazioni manuali è il metodo più efficace di prevenzione. Per gestire al meglio il rischio, vista l'eterogeneità di possibili agenti di rischio nelle lavorazioni e nel settore potrebbe essere utile separare i compartimenti delle lavorazioni.

### NANOMATERIALI

I nanomateriali possono essere di origine naturale, incidentali dovuti ad attività industriali come lavorazioni a caldo o ad alta velocità oppure ingegnerizzati cioè volutamente prodotti per avere determinate caratteristiche e proprietà, volutamente più piccole di 100 nanometri. I nanomateriali si dividono in:

- Nanoparticelle
- Nanoaste, ulteriormente divise in nanotubi, nanofili e nanofibre
- Nanolastre

Molte particelle in poca massa, le proprietà nanospecifiche rendono le nanoparticelle adatte a diversi settori. È possibile che siano un pericolo e ci sia dunque bisogno di fare valutazione dell'esposizione, può essere fatta con monitoraggio ambientale, biologico ma anche con delle stime; non esistono approcci standard.

Nel monitoraggio vanno evidenziati degli aspetti:

- La scelta della misura o il metric di riferimento: le caratteristiche fisiche della nanoparticella, come la dimensione, sono fondamentali per determinarne la pericolosità, ma queste cambiano durante le diverse fasi del ciclo produttivo. Nelle linee guida si consiglia di misurare l'esposizione in termini numerici per area superficiale poiché più rilevante per la risposta biologica, di fatto è difficile trovare una misura rappresentativa e c'è scarsa sensibilità degli strumenti di misura. La proposta più completa per la valutazione dell'esposizione è probabilmente un approccio multimetrico
- La scelta del metodo di campionamento che passa necessariamente dalla scelta precedente per cui se si sceglie di campionare per numero di particelle si può usare un elettrometro che ha però risoluzione temporale di 1 secondo, incertezza del 30% e vede le particelle tra 10 e 700 nanometri. Si possono anche contare le particelle con un contatore di particelle a condensazione, non fa però classificazione dimensionale. Anche gli impattori possono essere utili se si usa la concentrazione in massa e si vuole differenziare. Le tecniche di misura possono essere combinate in modo ottimale.
- Scegliere la strategia di monitoraggio è l'ulteriore grado di complessità, in genere si mira ad ottimizzare tempo e risorse.
- È importante discriminare il valore di fondo comparando casi di inattività e attività
- Confrontare con i valori limite che sono definiti secondo diversi criteri, servirebbe averli anche in relazione alle esposizioni brevi
- Sui biomarcatori c'è ancora della ricerca da fare
- Per l'inalazione ci si può rifare ad alcune norme UNI

Di fatto ci sono da fare dei controlli ingegneristici per eliminare l'aerodispersione o confinare, occuparsi di impianti di ventilazione specifici e in ultima istanza affidarsi alla ventilazione generale.

Affinchè sia possibile gestire il rischio è indispensabile prestare attenzione alle operazioni critiche come lo svuotamento o la pulizia dei reattori, il trasferimento delle nanopolveri, la pulizia degli ambienti, dei filtri e dei dispositivi di contenimento.

La scarsità di dati tossicologici rende difficile quantificare il rischio, si rende perciò necessario caratterizzare le proprietà delle nanoparticelle per definirne la pericolosità ma anche sviluppare metodologie standard per la valutazione dell'esposizione, definire criteri per cui proporre e discutere di valori limite occupazionale sviluppando strumenti per il corretto monitoraggio.

### INDUSTRIA SIDERURGICA

Parliamo di un settore in cui non è presente solo rischio chimico ma bisogna occuparsi anche dei rischi fisici.

L'Europa non è leader del settore, lo è la Cina.

Quando parliamo di metallurgia ci riferiamo in generale ai metalli in senso ampio quindi anche rame, alluminio, etc.

Quando parliamo di siderurgia ci riferiamo ad acciaio, leghe su base ferrosa con percentuali di carbonio non superiori tipicamente al 2%. La grossa suddivisione che si fa nell'industria siderurgica è tra:

- Fonderie di prima fusione, trattano il materiale minerale in grandissimi impianti con alti tonnellaggi dove si produce ghisa che ha carbonio fino al 7% in peso e acciaio. Prodotti più o meno finiti che si possono destinare alle fonderie di seconda fusione. Parliamo degli altiforni i cui prodotti possono presentare anche nichel, cromo, silicio, alle volte rilevanti per il loro profilo tossicologico come nel caso di cromo esavalente che è cancerogeno per il polmone. Un classico semilavorato prodotto negli altiforni è il getto di ghisa, di acciaio o di leghe. In un altiforno si prendono i minerali, si scaldano in condizioni di gradiente di temperatura controllato, si caricano dall'alto a circa 200 gradi mentre sono presenti materiali come la limonite, ossidi, idrossidi e carbonati miscelati in opportune pezzature con il carbon coke, si raggiungono i 2000 gradi. In questo modo l'ossigeno ottenuto con gli ossidi di ferro si libera così come anche il ferro, formando ghisa e CO<sub>2</sub>; dal basso viene soffiata aria calda per portare via l'anidride carbonica e la ghisa fusa viene poi spillata in carrelli, pani o lingottiere. A questo punto se si vuole ottenere acciaio è sufficiente sottoporre la ghisa ad ulteriore ossidazione fornendo calore, si abbassa cioè il contenuto di carbonio e si cola in siviera o lingottiera – facendo attenzione ad eventuale silice amorfa presente nei materiali refrattari.

Fonderie di seconda fusione, la cui materia prima è il prodotto delle fonderie di prima fusione, quindi più o meno controllata per cui si potrebbe avere anche PVC proveniente da rottamazione di ferro. La ghisa viene fusa in cubilotto se no in forni fusori elettrici a induzione; questi forni scaricano poi in colata continua o automatica, se scaricano in siviera la parte alta che si raffredda è sottoposta a scorificazione. All'acciaio di origine controllata possono a questo punto essere aggiunti cromo e nichel per fare l'inox.

Nelle fonderie di seconda fusione ci sono dei reparti specifici in cui si fa formatura, si producono cioè staffe in legno e si realizza la forma vuota in terra di fonderia. Per ogni oggetto cavo da realizzare si producono due mezze forme che devono essere chiuse con le grappe: in quel guscio si cola il metallo fuso; spesso si usano delle vernici per facilitare la distaffatura post colata. Sono spesso presenti materozze, utili perché per un volume solido è necessario più volume liquido, le materozze hanno liquido in eccesso e sarà poi necessario smaterozzare, scriccare e rimuovere eventuali bave.

Va prestata attenzione ai forni a induzione perché generano campi elettromagnetici, non sono quindi ammessi lavoratori con dispositivi o protesi che possono essere compromesse.

Attenzione anche nel reparto sbaveria dove si fa granigliatura e sbavatura tramite processi meccanici ma anche termici, si salda a 2000 gradi producendo fumi di saldatura e può esserci esposizione a metalli pesanti o pericolosi oltre che si generano radiazioni ottiche artificiali ad alta intensità (ultravioletti).

L'identificazione dei profili di rischio dev'essere fatta per comparto produttivo, prestando attenzione a tutti i possibili aerosol presenti, alle resine isocianiche nel reparto di produzione anime, le diossine dovute ad eventuali plastiche, attenzione al rischio fisico per rumore, microclima, radiazioni non ionizzanti e vibrazioni.

Attenzione alle siviere, ora non più ma quando erano manuali c'erano problemi di: sicurezza, condizione di temperatura severa, radiazioni, fumi, infrarossi. In questi ambienti si lavora con abbigliamento e occhiali protettivi.

Per fare campionamento seguendo la 689 si validano i SEG cercando le varie misure che permettono un R<sup>2</sup> sufficientemente alto, bisogna calcolare l'UR tramite valore limite, media e deviazione standard delle misure e confrontarlo con l'UT che dipende dalla numerosità del campione; UR>UT indica conformità con il valore limite e va concordato il successivo campionamento. Era possibile per l'igienista usare un altro approccio a patto di giustificare la scelta nel report tecnico.

#### FORMALDEIDE

È un composto organico e volatile per cui il problema è l'esposizione a vapori, appartiene alla famiglia delle aldeidi, è un gas incolore dall'odore forte e pungente, prodotta dal 1889 come potente conservante e non ancora rimpiazzata poiché non si sono ancora trovati sostituti ugualmente performanti e dal profilo tossicologico migliore; nonostante sia un cancerogeno in categoria 1 IARC per cui esiste quindi l'obbligo di monitoraggio e l'obbligo di aprire il registro degli esposti.

La formaldeide costituisce un'eccezione sui cancerogeni perché genotossico con soglia, la cancerogenesi non è l'effetto critico che è invece per gli ambienti indoor l'irritazione oculare, nasale e a carico della gola. A livello cutaneo l'esposizione a formaldeide può causare eritemi ed è sospettata di essere uno dei maggiori responsabili della sindrome dell'edificio malato. Gli effetti lesivi sono a carico delle prime vie aeree perché oltre una certa soglia non è più gestita a livello enzimatico, di fatto l'uomo produce una quota endogena di formaldeide, oltre una certa soglia possono però esserci problematiche causate da effetti citotossici quindi a livello cellulare e di interazione con il DNA. Per questo esiste un NOAEL e cioè la relazione dose risposta è piatta fino a 1ppm, il valore limite è in allegato 43 della 81/2008: il VLEP sulle 8 ore in Italia è 0,37 mg/m<sup>3</sup> che è il TLV STEL per l'ACGIH. L'OMS propone 0,1 mg/m<sup>3</sup> per gli ambienti indoor non industriali su 30 minuti basato sugli effetti irritanti in quanto anche la continua esposizione seguita da effetti irritanti può essere cancerogena.

Cancerogeno 1B per il tratto nasofaringeo ed è possibilmente mutageno.

I lavoratori esposti a formaldeide sono tutti quelli che lavorano con materie prime a base di formaldeide o suoi donatori come la formalina che serve a conservare campioni biologici, i biocidi che sono conservanti antibatterici e tutte le attività che prevedono un rilascio di formaldeide per termodegradazione.

In presenza di miscele con percentuale di formaldeide superiori allo 0,1% o in cui è liberata dal processo è obbligatorio il monitoraggio ambientale; come per tutte le sostanze cancerogene si deve tendere nel tempo a ridurre i livelli di esposizione o eliminarla del tutto.

Il monitoraggio dell'esposizione è compito dell'igienista industriale, l'approccio modellistico non è legalmente possibile, il monitoraggio biologico non è possibile perché la formaldeide ha una sua quota endogena nell'uomo e ci sono diversi interferenti tra gli alimenti per cui l'unica strada è il monitoraggio ambientale. I sistemi a lettura diretta che costano meno di 50.000 euro sono poco specifici e selettivi, si usano tipicamente sensori elettrochimici o analizzatori di tipo fotoacustico o infrarossi. Gli strumenti più costosi consentono anche un rilievo dei dati near real time. È raccomandato il campionamento attivo delle soluzioni acquose e contenenti solfito o acidocromotropico come soluzione assorbente; per il campionamento passivo si utilizzano invece gel di silice o carbone attivo.

Attenzione durante il campionamento di formaldeide agli interferenti, la molecola è instabile per cui tende a reagire con ozono o no<sub>2</sub>, anche la luce del sole fa perdere informazione. Alcuni dispositivi hanno dei depuratori di ozono in ingresso.

Il rischio da formaldeide viene tipicamente gestito con dispositivi di protezione collettivi per cui in ambienti sanitari si lavora sotto cappa, si utilizzano contenitori di formalina preriempiti con velo protettivo o sottovuoto, si usano i DPI.

#### PARTICOLATO ATMOSFERICO

L'inquinamento atmosferico è definito dalla normativa italiana come ogni modificazione della normale composizione chimica o dello stato fisico dell'aria dovuto alla presenza di una o più sostanze tali da alterare la salubrità e costituire pericolo per la salute pubblica. Il particolato atmosferico è un insieme di particelle eterogenee considerabile alla stregua di un agente chimico che ha un profilo tossicologico rispondente ad un modello probabilistico lineare senza soglia. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico per l'uomo sono divisibili in:

- Acuti e cronici
- Globali come quelli dell'effetto serra e locali
- Danni al patrimonio artistico e culturale
- Danni all'ecosistema e alla vegetazione

Ci sono inquinanti primari e secondari e l'inquinamento atmosferico è così rilevante da ritrovarlo anche nelle relazioni pubblicate dal Ministero della Salute sullo stato sanitario del nostro Paese. Le frazioni di interesse del particolato atmosferico sono quelle del pm10, pm2.4, pm0.1; bisogna considerare che il particolato atmosferico è un sistema estremamente dinamico, ad esempio quando piove la qualità dell'aria migliora perché il materiale particolato va al suolo mentre l'ozono non si forma perché ci sono le nuvole. Il tempo di residenza in atmosfera delle particelle dipende dalla loro grandezza e dalle loro caratteristiche.

Il problema in Lombardia è primariamente dato dalla chiusura su 3 lati da parte di alpi e appennini, per cui non c'è velocità dell'aria, non c'è dispersione di inquinanti e c'è inversione termica cioè il gradiente di temperatura scende rispetto al suolo fino a circa 350 metri, poi si inverte salendo e poi torna a scendere, questo genera una sorta di tappo che porta ad avere uno strato di mescolamento piuttosto basso e accumulano in un volume piccolo molti inquinanti.

Nel decreto 155 del 2010 ci sono i valori limite di qualità dell'aria:

- 50 microgrammi metro cubo di PM10 di media giornaliera da non superare più di 35 volte all'anno e 40 microgrammi metro cubo nell'anno
- 25 microgrammi metro cubo di PM2.5 nell'anno

Il PM10 in Lombardia deriva primariamente dal riscaldamento ma la tendenza è in decrescita grazie a sistemi più performanti di produzione di energia.

Il particolato a livello globale non deriva solo da attività antropiche ma anche ad esempio dalle attività vulcaniche, dai suoli. La pericolosità delle particelle è da ricercarsi in primo luogo nelle dimensioni perché da quelle dipende la capacità e il luogo di deposizione nell'apparato respiratorio.

L'impatto sull'uomo degli inquinanti si misura a livello epidemiologico, si calcola l'impatto e cioè il numero di persone colpite da patologia dovuta all'esposizione. Uno degli indicatori di impatto più usati ad oggi è il DALY che include sia la morte precoce che la malattia per cui è un indicatore integrato di anni di vita corretti per disabilità. Questi dati sono raccolti assieme ai sistemi dei dati sanitari. Nel 2012 quasi 300.000 morti di europei ad alto reddito sono da imputare all'inquinamento atmosferico: il tasso di mortalità correla positivamente con il livello di inquinamento atmosferico.

È dagli anni '30 che sappiamo che l'inquinamento atmosferico comporta gravi problemi di salute, ci sono stati casi di smog tali da oscurare il sole e dal '52 si sono iniziati a raccogliere dati. Negli anni 90 i dati di esposizione e quelli sanitari sono stati incrociati dando inizio agli studi epidemiologici e si inizia a rendersi conto che non si verificano problemi solo per i picchi di inquinamento ma anche per le basse dosi e sono possibili malattie cardiovascolari, degli studi epidemiologici i più utili sono quelli osservazionali che si dividono in:

- Caso-controllo sono i più diffusi e sono retrospettivi, si recuperano le informazioni sanitarie e ambientali passate per fare analisi
- Di coorte sono prospettivi, si seguono le popolazioni nel tempo
- Trasversali usati se i fattori di rischio non cambiano nel tempo, analizzano una popolazione in un dato istante dividendo esposti e non esposti

Bisogna ricordare che per non esposto si intende anche esposto a basse dosi. Si definiscono gli indicatori:

- $\text{rischio relativo} = RR = \frac{\text{incidenza per gli esposti}}{\text{incidenza per i non esposti}}$
- $\text{ODDS ratio} = OR = \frac{\frac{\text{esposti malati}}{\text{esposti sani}}}{\frac{\text{non esposti malati}}{\text{non esposti sani}}}$
- RISCHIO ATTRIBUIBILE e ATTRIBUIBILE PER POPOLAZIONE da cui si ricavano i casi di malati addizionali dovuti all'esposizione.

L'esposizione ad inquinamento atmosferico porta ad ospedalizzazioni, morti in culla, aumento dell'utilizzo di strumenti medici per problemi di respirazione o cardiovascolari, assenteismo da lavoro e scuola per effetti acuti. L'organo bersaglio del particolato atmosferico è l'apparato respiratorio e il sistema cardiovascolare, sistema endocrino e diabete e si stanno studiando le correlazioni tra picchi di inquinamento e malattie neurodegenerative. La mancanza di ossigeno nel sangue porta a stressare l'endotelio vasale, alla risposta infiammatoria nel sangue e alla promozione dell'aggregazione piastrinica.