

*Elaborazione del testo e delle immagini
a cura della Segreteria Scientifica AIDII*

Stampa e Fotolito: Tipografia PI-ME Editrice, Pavia

PRINTED IN ITALY
PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

© 2013
AIDII
20129 Milano - Via G.B. Morgagni, 32
Tel. 02-20240956 - Fax 02-20241784
E-mail: aidii@aidii.it - www.aidii.it

ISBN 978-88-86293-22-8

Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte di questo libro
può essere riprodotta, senza
la preventiva autorizzazione
scritta dell'editore.

ATTI

30° Congresso Nazionale

Associazione Italiana degli Igienisti Industriali

per l'igiene industriale e per l'ambiente

ente no profit

Maranello (MO)

Museo Ferrari

26-28 giugno 2013

a cura di:

B.P. ANDREINI, M.C. APREA, M. CARRIERI, D.M. CAVALLO,
P. CASTELLANO, R. D'ANGELO, G. GINO, E. GRIGNANI,
S. LUZZI, P. NATALETTI, G. PIZZELLA, C. SALA, G. SCIARRA



Dalle emissioni alle immissioni fino alla stima dell'esposizione: rilevanza della competenza dell'Igienista Occupazionale

D.M. CAVALLO, A. CATTANEO, A. SPINAZZÈ

Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como

Introduzione

Nelle comuni attività quotidiane le persone sono costantemente esposte a numerosi agenti potenzialmente nocivi. Qualunque considerazione in merito alle possibili relazioni tra i livelli di esposizione e le relative ripercussioni di questi sulla salute pubblica deve necessariamente passare attraverso una valutazione o una stima dell'esposizione. Elemento rilevante diviene inoltre l'attribuzione della sorgente del contaminante in esame.

La valutazione dell'esposizione rappresenta comunque una fase cruciale nella valutazione della relazione dose-risposta tra una data esposizione ambientale ed un certo effetto sulla salute. Infatti se la esposizione viene valutata in modo incompleto o errato la successiva procedura di valutazione dei rischi per la salute risulterà monca o persino priva di significato.

Per quanto riguarda le vie di penetrazione, la più frequentemente interessata nell'esposizione in ambienti di vita e di lavoro è la via respiratoria, seguita dalla cute, mentre quella di minore importanza è costituita dall'apparato digerente, anche se nella popolazione generale quest'ultima può assumere particolare importanza, perché la popolazione generale è esposta a tossici esogeni principalmente per ingestione di cibi o bevande contaminate eventualmente anche lungo la catena alimentare a seguito delle ricadute degli inquinanti emessi, e quindi successivamente immessi nell'ambiente.

Tuttavia quando un organismo vivente è esposto ad un prodotto chimico, si può avere un effetto solo se la sostanza stessa viene assorbita. Definiremo quindi "assorbimento" il passaggio di una sostanza dall'ambiente esterno all'interno dell'organismo esposto e "vie di assorbimento" gli organi, sistemi o apparati attraverso i quali la sostanza esogena penetra nell'organismo.

In generale la quantità della sostanza presente nell'ambiente ("dose esterna") che viene effettivamente assorbita dall'organismo ("dose interna") dipende, oltre che dalla quantità stessa con cui si entra in contatto, anche dalle caratteristiche fisico-chimiche della sostanza e da fattori individuali dei soggetti esposti.

Esposizione

Le variabili che entrano in gioco quando si considera l'interazione tra sostanza chimica e uomo possono essere diverse, ma sostanzialmente riconducibili ai quattro gruppi di seguito indicati:

Concentrazione ambientale della sostanza

La concentrazione di una sostanza in un determinato ambiente, aperto o confinato, rappresenta la prima variabile da considerare per definire l'entità dell'esposizione che può aver luogo nelle condizioni in esame.

Durata dell'esposizione

La durata dell'esposizione è uno dei fattori più importanti che condizionano l'entità dell'esposizione e, di conseguenza, l'entità dell'effetto tossico. Attualmente, i casi di intossicazione professionale e le esposizioni ad inquinanti ambientali sono per lo più esposizioni prolungate nel tempo ad una sostanza presente a concentrazioni molto lontane da quelle letali e non ad esposizioni sub-acute ed acute, che pure accadono ma che sono sempre di tipo accidentale. Giova ricordare che il rapporto tra l'esposizione professionale rispetto e quella ambientale che generalmente occorre negli ambienti di vita è di circa uno a tre (8/24h).

Vie di penetrazione

In rapporto alle specifiche caratteristiche chimico fisiche ed alle modalità di esposizione, una sostanza tossica può penetrare nell'organismo attraverso diverse vie tra cui la principale nel caso dei mezzi di trasporto è rappresentata da quella inalatoria.

Velocità di penetrazione

L'esposizione è proporzionale alla concentrazione ambientale ed al tempo (esposizione = intensità per durata). Un'ultima importante variabile in grado di definire i livelli di esposizione ad una determinata sostanza tossica è rappresentata dalla velocità di penetrazione. In linea generale, penetrano con particolare facilità nell'organismo, attraverso qualsiasi via, le molecole apolari e quelle più piccole (caratterizzate dagli ingombri sterici minori).

Valutazione dell'esposizione

L'esposizione di un soggetto ad un inquinante può essere definita come il contatto di un soggetto con una data sostanza presente nell'ambiente ad una certa concentrazione e per un certo periodo di tempo. Il contatto tra soggetto ed agente inquinante può avvenire attraverso inalazione, ingestione o per assorbimento cutaneo, e, soprattutto nel caso di esposizione inalatoria la valutazione dell'esposizione fonda le sue considerazioni a partire dalla misura delle concentrazioni di tali inquinanti.

È necessario sottolineare che i livelli di inquinanti aerodispersi presentano importanti variazioni spazio-temporali. La valutazione dell'esposizione ad agenti aerodispersi deve quindi prevedere la valutazione dei contatti di un soggetto con un determinato inquinante ambientale per un periodo di tempo sufficientemente lungo in modo da tenere conto di tutte le possibili fonti di esposizione.

La valutazione completa dell'esposizione necessita pertanto di un approfondimento sia delle caratteristiche dell'inquinamento atmosferico classicamente inteso ("outdoor") che di quello presente in ambienti chiusi non confinati ("indoor").

L'obiettivo nella valutazione dell'esposizione ("exposure assessment") è quello di ottenere una caratterizzazione accurata, precisa e biologicamente rilevante nel modo più efficace ed economico. La competenza nella definizione della metodologia e la scelta delle tecniche di misura o stima diviene determinante soprattutto in presenza di contenziosi ambientali.

L'esposizione ad agenti aerodispersi può essere indagata utilizzando diversi tipi di metodologie; l'esposizione infatti può essere valutata classificata, misurata o modellizzata utilizzando differenti strumenti come questionari, rilievi ambientali e tecniche statistiche.

I costi per l'"exposure assessment" aumentano ovviamente all'aumentare della accuratezza e della precisione ed è necessario riuscire a trovare un opportuno compromesso costi-benefici (Amstrong, 1996). Specialmente in ambito ambientale, la stima dell'esposizione riguarda in genere popolazioni molto numerose e con caratteristiche variabili. Per tale motivo la scelta del metodo di misura o stima dell'esposizione è molto importante perché condiziona la potenza dello studio di epidemiologia ambientale che ne consegue anche a seconda del tipo di modello utilizzato nella stima dell'errore sia della variabilità spazio-temporale sia delle caratteristiche dei bersagli più o meno sensibili (popolazione generale verso soggetti ipersuscettibili).

Nella valutazione dell'esposizione della popolazione generale spesso può risultare difficile o impossibile misurare o ricostruire le concentrazioni di interesse e per tale ragione può essere necessario utilizzare dei surrogati di esposizione.

Nel 1991 il National Research Committee (NRC) ha definito una gerarchizzazione delle esposizioni e dei suoi surrogati (vedi figura sotto riportata).

Table 1.2 Hierarchy of exposure data and surrogates for fixed-source contaminants

Type of data	Approximation to actual exposure
(1) Quantified personal measurement	Best  Worst
(2) Quantified area measurements in the vicinity of the residence or sites of activity	
(3) Quantified surrogates of exposure (e.g. estimates of drinking water use)	
(4) Distance from the site and duration of exposure	
(5) Distance or duration of residence	
(6) Residence or employment in the geographical area in reasonable proximity to the site where exposure can be assumed	
(7) Residence or employment in a defined geographical area (e.g. a county) of the site	

Source: Adapted from NRC (1991).

L'esposizione ad agenti aerodispersi può quindi essere indagata utilizzando diversi tipi di metodologie. Questi metodi vengono in genere differenziati in diretti e indiretti (vedi figura a pagina seguente).

Gli approcci tradizionali utilizzano metodologie indirette e prendono in considerazione la misura delle concentrazioni di inquinanti nell'aria mediante punti fissi di rilevamento (in genere outdoor) e stimano le concentrazioni ambientali mediante modelli di simulazione e dispersione. La complessità e/o la facilità d'uso dei modelli di simulazione e dispersione sono ovviamente correlabili alla portata ed alla rilevanza degli scopi dell'esercizio di stima in tutti gli ambiti applicativi. Tuttavia alcune assunzioni di calcolo risultano comunque fondamentali.

Il progresso nell'utilizzo di queste metodologie ha permesso di condurre negli anni, numerosi studi su ampie popolazioni con costi contenuti, evidenziandone però anche alcune lacune.

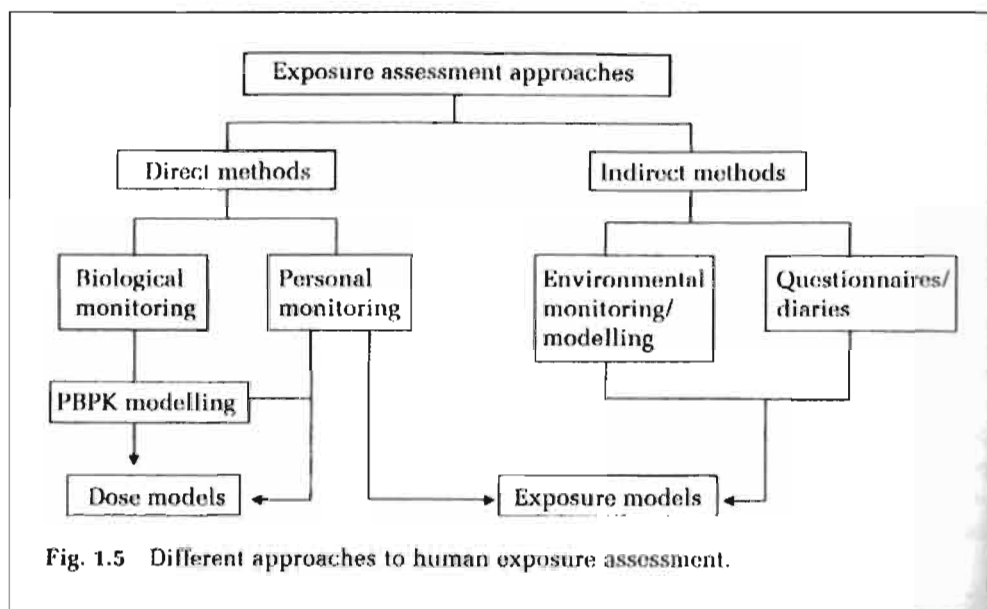


Fig. 1.5 Different approaches to human exposure assessment.

L'esposizione generale e complessiva ad un agente è data quindi dall'integrazione dei livelli dell'inquinante presenti negli ambienti e dei relativi periodi di permanenza dei soggetti in tali ambienti. A partire dalla distribuzione delle concentrazioni ambientali degli inquinanti presenti in specifici microambienti, con questi modelli può essere stimata o simulata l'esposizione di diverse categorie di soggetti conoscendo il profilo comportamentale e di frequentazione dei vari ambienti (ad esempio con la tecnica statistica Monte Carlo - Expolis).

Tradizionalmente per rilevare i valori di inquinamento atmosferico si utilizzano stazioni fisse di monitoraggio. Tuttavia, numerosi studi sull'inquinamento outdoor e indoor hanno dimostrato che i livelli ambientali rilevati con queste metodiche non rappresentano accuratamente i valori di esposizione individuali e, quindi, non possono essere utilizzati per la stima dell'esposizione individuale. Inoltre è stato ampiamente dimostrato che, per ottenere una visione più completa dell'esposizione umana e dei fattori che la determinano, risulta necessario integrare i dati monitorati nei differenti micro-ambienti con le attività quotidiane svolte dai soggetti (Time Activity Diary-TAD o Time Location Activity Diary- TLAD).

Tali metodologie, quindi, se da un lato presentano il vantaggio di permettere l'utilizzo e l'applicazione a popolazioni numerose delle consistenti serie storiche di concentrazioni outdoor registrate dalle reti fisse di monitoraggio, sono molto carenti sulle concentrazioni di inquinanti misurate in ambienti confinati. Infatti non sono ancora ben conosciuti gli intervalli di concentrazione degli inquinanti misurati nei diversi microambienti e in particolar modo le variazioni di queste potenzialmente presenti negli stessi. Inoltre, l'utilizzo di tali modelli presenta il limite di utilizzare concentrazioni outdoor che come ampiamente dimostrato, non riflettono sempre in modo rappresentativo le concentrazioni a cui può essere effettivamente esposta la popolazione che trascorre la maggior parte del tempo (anche fino al 95%) indoor.

Un altro tipo di approccio consiste nella definizione di metodi modellistici che utilizzano sia dati di esposizione personale che dati di concentrazione ambientali. Tali modelli permettono meglio di simulare l'attuale esposizione e predire quella futura attraverso la valutazione di diversi possibili scenari varie fasce di popolazioni.

Lo studio dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi mediante metodologie dirette consiste nella determinazione dell'esposizione di ogni singolo soggetto indagato attraverso la misura delle concentrazioni individuali/personali.

Nell'ottica della caratterizzazione di scenari espositivi quanto più aderenti alla realtà, la determinazione delle concentrazioni individuali fornisce sicuramente le informazioni migliori per la valutazione dell'esposizione rispetto ai valori forniti ad esempio dalle stazioni fisse di monitoraggio dislocate all'interno di una area geografica anche se spazialmente ridotte.

È però necessario sottolineare che i livelli espositivi della popolazione generale sono molto più bassi rispetto a quelli tipici industriali e quindi per la misura delle concentrazioni ed in particolare per lo studio dell'esposizione individuale è necessario utilizzare metodologie di campionamento e di analisi all'avanguardia ma molto spesso complesse e costose. Per tale ragione queste metodologie risultano utilizzabili generalmente solo per studi su gruppi ristretti di popolazione, ancorché considerati a torto o a ragione rappresentativi, e magari utilizzando tecniche non ancora validate in termini analitici. Si rischia in questo modo di compiere errori.

Infatti la "semplice" misura di tali concentrazioni rappresenta un punto ad elevata criticità in quanto sussistono problematiche sia di tipo metodologico (strategie, modelli, etc) che tecnologico (apparecchiature, strumenti e metodi). Ad ulteriore complicazione è necessario sottolineare la presenza di numerose variabili ambientali che possono influire significativamente contribuendo ad elevare il grado di variabilità spazio-temporale delle concentrazioni dei singoli inquinanti quali impianti di ventilazione e ricambi d'aria associati.

Ricordiamo inoltre che si definisce "assorbimento" il passaggio di una sostanza dall'ambiente esterno all'interno dell'organismo esposto e "vie di assorbimento" gli organi, sistemi o apparati attraverso i quali la sostanza esogena penetra nell'organismo.

L'assorbimento di uno xenobiotico nell'organismo umano dipende da numerose variabili che possono essere schematicamente inquadrate in tre distinti sottogruppi:

1. variabili riferite all'ambiente (temperatura e umidità, aerazione, ecc.);
2. variabili riferite al soggetto esposto (ventilazione, frequenza cardiaca, condizioni del tegumento cutaneo, condizioni generali di salute, ecc.);
3. variabili intrinseche della sostanza in esame (caratteristiche chimico-fisiche). Le proprietà chimico-fisiche sono quindi qualità intrinseche di una sostanza e ne condizionano la tossicità (pericolosità) nonché la possibilità di essere assorbite dall'organismo (rischio).

Tipo di formulazione della sostanza (polvere, liquido, ecc.)

Il tipo di formulazione di una sostanza, cioè la forma fisica nella quale la sostanza stessa è disponibile all'impiego, e la associazione con altre sostanze, modifica in modo sostanziale la sua disponibilità biologica e rappresenta quindi una caratteristica fondamentale da considerare nella valutazione tossicologica.

Per quanto riguarda le vie di penetrazione, la più frequentemente interessata nell'esposizione in ambienti di vita e di lavoro è la via respiratoria, seguita dalla cute, mentre quella di minore importanza è costituita dall'apparato digerente. Nella popolazione generale quest'ultima può assumere particolare importanza, perché la popolazione generale è esposta a tossici esogeni principalmente per ingestione di cibi o bevande contaminate.

La quantità della sostanza presente nell'ambiente ("dose esterna") che viene effettivamente assorbita dall'organismo dipende, oltre che dalla quantità stessa con cui si entra in contatto, anche dalle caratteristiche fisico-chimiche della sostanza e da fattori individuali. Per quanto riguarda il tratto respiratorio, la penetrazione di gas, vapori, fumi e sostanze particolate (polveri, fibre ecc.) è influenzata da numerosi fattori comprendenti: fattori anatomici

ci da ricercare nella costituzione corporea del singolo individuo, fattori di ordine fisiologico, come ad esempio l'entità della ventilazione polmonare, che può essere condizionata dallo sforzo fisico, dall'età, dal peso corporeo, dall'allenamento ed infine da patologie che possono determinare una maggior o minore penetrazione di sostanze nel tratto respiratorio (per esempio l'eventuale presenza di stenosi nasale, di un'eccessiva produzione di muco, di una riduzione del calibro delle vie aeree).

È chiaro ed importante ricordare che nessuna sostanza è un veleno come tale ma, in base alle concentrazioni raggiunte a livello degli organi bersaglio, tutte le sostanze possono agire come veleni. Questa concentrazione dipende dalle modalità dell'interazione della sostanza con l'organismo, dalle proprietà fisico-chimiche della sostanza, dai fattori biologici propri dell'organismo ed infine dai fattori ambientali in cui la sostanza esogena viene a trovarsi. Appare quindi determinante la misura o, quantomeno, la miglior stima possibile della concentrazione disponibile all'assorbimento meglio definita come "livello di esposizione".

Modellazione delle concentrazioni emissive e relative ricadute al suolo (immissione)

A titolo esemplificativo viene di seguito riassunto il sistema di modelli CALMET-CALPUFF, inserito dall'U.S. EPA in Appendix A di "Guideline on Air Quality Models", è che stato sviluppato da Sigma Research Corporation, ora parte di Earth Tech, Inc., con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

Il sistema di modelli è costituito da tre moduli principali:

- il processore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all'interno del dominio di calcolo;
- il processore CALPUFF: modello di dispersione, che inserisce le emissioni all'interno del campo di vento generato da CALMET e ne studia il trasporto e la dispersione;
- il post-processore CALPOST: ha lo scopo di analizzare statisticamente i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli utilizzabili per le analisi successive;
- CALMET è un processore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura unitamente a campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza atmosferica. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa e da diverse tipologie di destinazione di uso del suolo.

Il campo di vento è ricostruito attraverso stadi successivi; in particolare, un campo di vento iniziale viene processato in modo da tenere conto degli effetti orografici tramite interpolazione dei dati misurati alle centraline di monitoraggio e tramite l'applicazione di specifici algoritmi in grado di simulare l'interazione tra il suolo e le linee di flusso.

CALMET è dotato, infine, di un modulo micro-meteorologico, per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell'atmosfera e pertanto è in grado di caratterizzare i fenomeni di inversione termica.

CALPUFF è un modello di dispersione ibrido, multi-strato e non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili nello spazio e nel tempo. CALPUFF è in grado di utilizzare i campi meteorologici prodotti da CALMET, oppure, in caso di simulazioni semplificate, di assumere un campo di vento assegnato dall'esterno, omogeneo all'interno del dominio di calcolo.

CALPUFF contiene diversi algoritmi, che gli consentono, opzionalmente, di tenere conto di diversi fattori, quali:

- l'effetto scia dovuto agli edifici circostanti (building downwash) o allo stesso camino di emissione (stack-tip downwash);

- lo shear verticale del vento;
- la deposizione secca ed umida;
- le trasformazioni chimiche che avvengono in atmosfera;
- il trasporto su superfici d'acqua;
- la presenza di orografia complessa o di zone costiere.

Per simulare al meglio le condizioni reali di emissione, il modello CALPUFF permette di configurare le sorgenti individuate attraverso geometrie puntuali, lineari ed areali. Le sorgenti puntuali permettono di rappresentare emissioni localizzate con precisione in un'area ridotta; le sorgenti lineari consentono di simulare al meglio un'emissione che si estende lungo una direzione prevalente, qual è ad esempio quella dovuta al trasporto su nastri; le sorgenti areali, infine, si adattano bene a rappresentare un'emissione diffusa su di un'area estesa.

CALPOST consente di analizzare i dati di output forniti da CALPUFF, in modo da ottenere i risultati in un formato adatto alle diverse esigenze di simulazione. Tramite CALPOST si possono ottenere dei file di output direttamente interfacciabili con software grafici per l'ottenimento di mappe di isoconcentrazione.

I codici di calcolo richiedono come input i seguenti dati:

- dati meteorologici in superficie ed in quota, per la ricostruzione del campo di vento tridimensionale (ricostruiti in CALMET);
- dati per le sorgenti: per l'effettivo studio della dispersione degli inquinanti in aria (effettuato da CALPUFF).

Gli output del codice CALPUFF, elaborati attraverso CALPOST, consistono in matrici che riportano i valori di ricaduta calcolati per ogni nodo della griglia definita, relativi alle emissioni di singole sorgenti e per l'insieme di esse. Tali risultati possono essere elaborati attraverso un qualsiasi software di "tipo GIS" creando ad esempio mappe di isoconcentrazione/isodeposizione.

Considerazioni conclusive

L'obiettivo nella definizione dell'esposizione ("exposure assessment") è quello di ottenere una caratterizzazione accurata, precisa e biologicamente rilevante nel modo più efficace ed economico. I costi per l'"exposure assessment" aumentano all'aumentare della accuratezza e della precisione ed è necessario riuscire a trovare un opportuno compromesso costo-benefici (Armstrong, 1996). Specialmente in ambito ambientale, la stima dell'esposizione riguarda in genere popolazioni molto numerose e per tale motivo la scelta del metodo è molto importante perché condiziona la potenza dello studio epidemiologico anche a seconda del tipo di modello utilizzato nella stima dell'errore (classico o Berkson).

Lo studio dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi mediante metodologie dirette consiste nella determinazione dell'esposizione di ogni singolo soggetto indagato attraverso la misura delle concentrazioni riferite all'individuo stesso.

In questo senso è necessario sottolineare che i livelli espositivi della popolazione generale sono molto più bassi rispetto a quelli tipici industriali e quindi per la misura delle concentrazioni e lo studio dell'esposizione è necessario utilizzare metodologie di campionamento e di analisi all'avanguardia ma molto spesso complesse e costose. Per tale ragione tali metodologie risultano utilizzabili generalmente solo per studi su gruppi ristretti di popolazione (o su campioni ristretti ma rappresentativi) e sovente utilizzando tecniche non ancora validate in termini analitici.

Infatti, come evidenziato in questo sintetico lavoro la "semplice" misura di tali concentrazioni rappresenta un punto ad elevata criticità in quanto sussistono problematiche sia di tipo metodologico (strategie, modelli, etc) che tecnologico (apparecchiature, stru-

menti e metodi). Ad ulteriore complicazione è necessario sottolineare la presenza nella realtà ambientale di numerose variabili che possono influire significativamente contribuendo ad elevare il grado di variabilità spazio-temporale delle concentrazioni dei singoli inquinanti.

La misura delle concentrazioni individuali attraverso campagne di monitoraggio organizzate e realizzate da esperti e competenti "exposure assessor" è utile e di fondamentale importanza. Tale contributo risulta ancor più valido per il rafforzamento e/o verifica, o anche eventuale correzione, dei dati ricavati dalle simulazioni modellistiche per la caratterizzazione dell'esposizione; esso permette quindi di definire oltre alle variazioni di concentrazione dei diversi parametri ed ai tempi di permanenza nei diversi micro-ambienti, anche i reali profili espositivi di soggetti-tipo che possono essere utilizzati sia per validare modelli espositivi esistenti o costruirne di nuovi sulla base delle caratteristiche e della specifica realtà analizzata.

L'arricchimento di specifici database emissione-immissione-esposizione rappresenta quindi un possibile ed utilissimo percorso finalizzato a meglio chiarire e definire i concetti di "impatto" o di "fattori di pressione" ambientale in un sempre crescente bisogno di "sources appointment" dei diversi contaminanti ambientali emessi in atmosfera e quindi immessi in ambienti di vita a scapito dell'esposizione, e quindi dei potenziali effetti, per la popolazione.

Risulta evidente come in questo percorso sia di elevata rilevanza, per non dire essenziale, la competenza e l'esperienza proprie "dell'igienista occupazionale" e oggi sempre più "igienista ambientale".

Bibliografia

1. Polidori A, Arhami M, Sioutas C, Delfino RJ, Allen R. Indoor/Outdoor relationships, trends, and carbonaceous content of fine particulate matter in retirement homes of the Los Angeles Basin. *J Air Waste Manag Assoc*, 57, 366-379, 2007.
2. Hänninen OO, Lebrecht E, Ilacqua V, Katsouyanni K, Kuenzli N, Sram RJ, Jantunen M. Infiltration of ambient $PM_{2.5}$ and levels of indoor generated non-ETS $PM_{2.5}$ in residences of four European cities. *Atmos. Environ*, 38, 6411-6423, 2004.
3. Ott W, Wallace L, Mage D. Predicting particulate (PM_{10}) personal exposure distributions using a random component superposition statistical model. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 50, 1398-1406, 2000.
4. Cattaneo A, Peruzzo C, Garramone G, Urso P, Ruggeri R, Carrer P, Cavallo DM. Airborne particulate matter and gaseous air pollutants in residential structures in Lodi province, Italy. *Indoor Air*, 21, 489-500, 2011.
5. World Health Organization. WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide: Global Update 2005 (Summary of risk assessment), 2006.
6. World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe, 2010.
7. Nazaroff WW. Indoor particle dynamics. *Indoor Air*, 14 Suppl 7, 175-183, 2004.
8. Abt E, Suh HH, Allen G, Koutrakis P. Characterization of indoor particle sources: A study conducted in the metropolitan Boston area. *Environ Health Perspect*, 108, 35-44, 2000.
9. Consiglio Nazionale Delle Ricerche, 1985. Le emissioni nell'atmosfera dell'industria del cemento. C.N.R. -Istituto Sull'inquinamento Atmosferico-, Area della Ricerca di Roma, 1985.
10. Kabir G, Maduga AI. Assessment of environmental impact on air quality by cement industry and mitigating measures: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 91-99, 2010.
11. Schuhmacher M, Nadal M, Domingo JL. Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel. *Chemosphere*, 74, 1502-1508, 2009.

12. Peters S, Vermeulen R, Olsson A, Van G, Kendzia B, Vincent R, Savary B, Williams N, Woldbaek T, Lavoue J, Cavallo D, Cattaneo A, Mirabelli D, Plato N, Dahmann D, Fevotte J, Pesch B, Bruening T, Straif K, Kromhout H. Development of an Exposure Measurement Database on Five Lung Carcinogens (ExpoSYN) for Quantitative Retrospective Occupational Exposure Assessment. *Ann Occup Hyg* 56: 70-79, 2012.
13. Campo L, Cattaneo A, Consonni D, Scibetta L, Costamagna P, Cavallo DM, Bertazzi PA, Fustinoni S. Urinary methyl tert-butyl ether and benzene as biomarkers of exposure to urban traffic. *Environ Int* 37: 404-411, 2011.
14. Arvanitis A, Kotzias D, Kephelopoulou S, Carrer P, Cavallo D, Cesaroni G, De B, de OF, Forastiere F, Fossati S, Fromme H, Haverinen-Shaughnessy U, Jantunen M, Katsouyanni K, Kettrup A, Madureira J, Mandin C, Molhave L, Nevalainen A, Ruggeri L, Schneider T, Samoli E, Silva G. The INDEX-PM project: health risks from exposure to indoor particulate matter. *Fresenius Environ Bull* 19: 2458-2471, 2010.
15. Cattaneo A, Taronna M, Garramone G, Peruzzo C, Schlitt C, Consonni D, Cavallo DM. Comparison between Personal and Individual Exposure to Urban Air Pollutants. *Aerosol Sci Technol* 44: 370-379, 2010.
16. Cattaneo A, Taronna M, Consonni D, Angius S, Costamagna P, Cavallo DM. Personal exposure of traffic police officers to particulate matter, carbon monoxide, and benzene in the city of Milan, Italy. *J Occup Environ Hyg* 7: 342-351, 2010.