



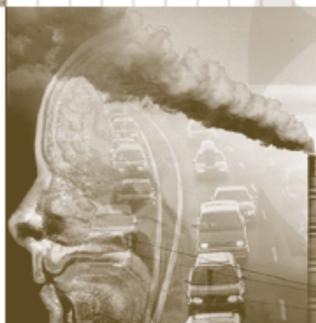
Rapporti

ISTISAN

13/39



Workshop
Problematiche relative all'inquinamento
indoor: attuale situazione in Italia



Istituto Superiore di Sanità
Roma, 25 giugno 2012



ISSN 1123-3117

ATTI

A cura di S. Fuselli,
L. Musmeci, A. Pilozi,
A. Santarsiero e G. Settimo
per il Gruppo di Studio Nazionale
sull'Inquinamento *Indoor*

www.iss.it

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Workshop
Problematiche relative all'inquinamento *indoor*:
attuale situazione in Italia

Istituto Superiore di Sanità
Roma, 25 giugno 2012

ATTI

A cura di Sergio Fuselli, Loredana Musmeci,
Antonella Pilozi, Anna Santarsiero e Gaetano Settimo
per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor*
Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria

ISSN 1123-3117
Rapporti ISTISAN
13/39

Istituto Superiore di Sanità

Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti.

A cura di Sergio Fuselli, Loredana Musmeci, Antonella Piloizzi, Anna Santarsiero e Gaetano Settimo per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor

2013, vi, 85 p. Rapporti ISTISAN 13/39

Questo volume include le relazioni presentate durante il workshop sull'inquinamento indoor, che ha avuto un duplice scopo di: 1) fornire una panoramica delle iniziative a livello nazionale e internazionale in termini di studi, strategie di campionamento degli inquinanti chimici e biologici, e delle norme per prevenire e/o ridurre la contaminazione dell'aria indoor; 2) presentare le esperienze maturate dai componenti del Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor e dalle principali istituzioni nazionali.

Parole chiave: Aria indoor; Inquinamento chimico e biologico; Monitoraggio

Istituto Superiore di Sanità

Workshop. Issues related to indoor air pollution: current situation in Italy. Istituto Superiore di Sanità. Rome, June 25, 2012. Proceedings.

Edited by Sergio Fuselli, Loredana Musmeci, Antonella Piloizzi, Anna Santarsiero and Gaetano Settimo on behalf of the National Working Group on indoor air

2013, vi, 85 p. Rapporti ISTISAN 13/39 (in Italian)

This document reports the presentations at the workshop on indoor air pollution, which had a dual aim: 1) to provide an overview of initiatives at national and international level, in terms of ongoing studies and strategies for sampling and analysing indoor air chemical and biological contaminants, and technical regulations to prevent and/or to reduce indoor air contamination; 2) to report the experiences in the field by the members of the National Working Group on indoor air and main national institutions as well.

Key words: Indoor air; Chemical and biological pollution; Monitoring

Per informazioni su questo documento scrivere a: anna.santarsiero@iss.it, gaetano.settimo@iss.it

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it.

Citare questo documento come segue:

Fuselli S, Musmeci L, Piloizzi A, Santarsiero A, Settimo G per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). *Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/39).

Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità e Direttore responsabile: *Fabrizio Oleari*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988 (serie: *Rapporti e congressi ISTISAN*)

Redazione: *Paola De Castro e Sandra Salinetti*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori.



Il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor* dell'ISS è stato costituito con nota del 1° ottobre 2010 (Prot. PRE620/10 COR-M) dal Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità.

Di seguito l'elenco dei componenti:

Massimo Berico	<i>Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</i>
Vincenza Bianchimani	<i>Regione Toscana</i>
Salvatore Bongiorno	<i>Regione Valle d'Aosta</i>
Bruno Bove	<i>Regione Basilicata</i>
Silvia Brini	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</i>
Giuseppe Caredda	<i>Regione Sardegna</i>
Angelo Cecinato	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
Daniela Cimini	<i>Regione Marche</i>
Alessandro Cipriani	<i>Regione Valle d'Aosta</i>
Fabrizio Cumo	<i>Sapienza Università di Roma</i>
Annamaria de Martino	<i>Ministero della Salute</i>
Maria delle Salette Mattiacci	<i>Regione Lazio</i>
Francesco Iacono	<i>Regione Sicilia</i>
Raimondo Ibba	<i>Regione Sardegna</i>
Paolo Izzo	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Rosanna La Vecchia	<i>Regione Toscana</i>
Rosanna Mabilia	<i>Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca</i>
Salvatore Minardi	<i>Regione Sicilia</i>
Marinella Natali	<i>Regione Emilia-Romagna</i>
Angelo Pellegrino	<i>Regione Piemonte</i>
Enrico Procopio	<i>Regione Piemonte</i>
Federica Rossi Gasparri	<i>Associazione Donne Europee Federcasalinghe</i>
Anna Santarsiero	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Genesio Scalon	<i>Regione Marche</i>
Gaetano Settimo	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Luigi Turrio Baldassarri	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Massimo Valsecchi	<i>Regione Veneto</i>
Antonella Pillozzi	<i>Segreteria Organizzativa, Istituto Superiore di Sanità</i>
Sergio Fuselli	<i>Coordinatore del Gruppo, Istituto Superiore di Sanità</i>

INDICE

Presentazione	v
Programma nazionale per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati <i>Annamaria de Martino</i>	1
Inquinamento dell'aria in ambienti confinati: orientamenti e valutazioni in campo nazionale e comunitario <i>Gaetano Settimo</i>	7
Stato dell'arte dei principali progetti europei sull'inquinamento <i>indoor</i> <i>Rosanna Mabilia, Francesca Spataro, Antonietta Ianniello, Erica Perreca, Fabio Camerini</i>	21
Metodologie per la definizione dei contributi delle differenti sorgenti in ambienti <i>indoor</i>: le esperienze e i casi studio <i>Gianluigi de Gennaro, Annamaria Demarinis Loiotile, Annalisa Marzocca, Maria Tutino</i>	29
Rilevamenti inquinamento <i>indoor</i>: esperienza nel territorio di Fabriano <i>Daniela Cimini, Daniel Fiacchini, Giorgia Capezzone, Virgilio Bernardi, Francesca Petruio, Marta Grifia, Manrico Marzocchini, Angelamichaela Siciliani, Paola Tombolesi, Gianluca Coppari, Mauro Fabbretti</i>	41
Qualità dell'aria negli ambienti confinati: le attività dell'ISPRA <i>Maria Belli, Silvia Brini, Giorgio Cattani, Francesca De Maio, Alessandro Di Menno Di Bucchianico, Arianna Lepore, Francesco Salvi, Maria Gabriella Simeone, Luciana Sinisi, Anna Maria Sotgiu, Giancarlo Torri, Jessica Tuscano</i>	47
Qualità dell'aria <i>indoor</i>: fattori di rischio biologici <i>Lucia Bonadonna</i>	61
Allergeni negli ambienti <i>indoor</i>: l'esperienza dell'Istituto Superiore di Sanità <i>Patrizia Iacovacci, Barbara Brunetto, Raffaella Tinghino, Carlo Pini</i>	67
Impatto dell'inquinamento <i>indoor</i>, gestione della qualità dell'aria <i>indoor</i> e parametri di accettabilità <i>Luciana Indinnimeo, Annalisa di Coste</i>	73
Indagine sui composti organici volatili nell'aria <i>indoor/outdoor</i> di un presidio odontoiatrico <i>Anna Santarsiero, Sergio Fuselli, Roberta Morlino, Marco De Felice, Gianluca Minniti, Emanuela Ortolani</i>	77

PRESENTAZIONE

È noto come l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) abbia avuto grande attenzione per l'inquinamento dell'aria, in ambiente esterno e in quello confinato (*indoor*) o di vita, per le problematiche sanitarie connesse, quali soprattutto l'esposizione della popolazione agli inquinanti.

L'attività di ricerca (metodologie di monitoraggio, metodi di campionamento, di analisi chimica, biologica e fisica degli inquinanti, ecc.) e l'attività istituzionale (normazione, indagini governative, linee guida, ecc.) si sono sempre affiancate l'una all'altra in quanto ritenute fondamentali alla valutazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti nell'ambiente e alla stima del rischio per la salute, e quindi alle misure necessarie per prevenire e/o ridurre i livelli di concentrazione degli inquinanti.

La valutazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti nell'*indoor* ha una grande rilevanza in quanto il rischio espositivo riguarda tutta la popolazione, che comprende anche gruppi più suscettibili quali bambini, anziani e persone già affette da patologie croniche (respiratorie, asma bronchiale, allergie), e una miscela di sostanze inquinanti (non una singola sostanza), in concentrazioni variabili nello spazio e nel tempo, emesse da sorgenti che possono essere differenti per numero e tipologia.

Pertanto, in merito alle problematiche rilevate negli ambienti *indoor* e dopo alcuni anni di attività del Reparto Igiene degli ambienti di vita del Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria emerse la necessità di organizzare in ISS nel 2009 il Convegno: "Inquinamento *indoor* residenziale – abitazione e qualità dell'aria" (9 ottobre) come occasione di confronto tecnico-scientifico tra i ricercatori e i tecnici che operano in tale settore sul territorio.

L'iniziativa vide la partecipazione di numerosi esperti operanti sul territorio che ravvisarono, la necessità di un "coordinamento nazionale" per procedere uniformemente nelle attività connesse all'inquinamento *indoor*. Nel corso dei lavori emerse la necessità di istituire un Gruppo di Lavoro o di Studio nazionale sull'inquinamento *indoor*, con lo scopo di approfondire gli aspetti tecnico-scientifici e normativi, e sulla base di tali risultati, promuovere documenti e linee d'indirizzo condivisi su aspetti e criticità di tale attività: metodologie di campionamento e di analisi degli inquinanti chimici, biologici e fisici, norme tecniche e norme comportamentali (stili di vita) per ridurre l'inquinamento degli ambienti di vita. Si evidenziò inoltre come l'Italia fosse carente, a differenza di altri Paesi europei, di una specifica normativa sia per valori guida degli inquinanti chimici e biologici che per procedure univoche di campionamento e analisi degli inquinanti stessi. Pertanto si valutò l'importanza della costituzione di un Gruppo di Studio (GdS) coordinato dall'ISS, che potesse colmare le lacune evidenziate, anche attraverso lo sviluppo di opportune linee d'indirizzo. Conseguentemente nel corso del 2010 è stato costituito ufficialmente dal Presidente dell'ISS il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor* costituito da rappresentanti ed esperti di istituzioni con specifica competenza nel settore, così come segue:

- Ministero della Salute;
- Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR);
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
- Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA);
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA);
- Università "Sapienza" di Roma;
- Associazione Donne Europee Federcasalinghe Nazionale.

Hanno inoltre aderito al progetto numerose Regioni con la nomina di propri rappresentanti.

Per specifici e peculiari aspetti che emergono nel corso dei lavori del GdS, vengono invitati a partecipare anche altri esperti interessati a fornire contributi.

Già dalle prime riunioni del GdS è emersa la necessità di affrontare *in primis* le problematiche degli inquinanti chimici, con particolare riguardo a quelli di natura organica volatile (Composti Organici Volatili, COV) e particolare (*Particulate Matter*, PM), per poi affrontare gli aspetti relativi a inquinanti biologici e fisici.

Il GdS ha poi ritenuto utile rendere noto alla comunità scientifica lo stato di avanzamento dei lavori attraverso una giornata dedicata, organizzando in ISS il workshop “Problematiche relative all’inquinamento *indoor*: attuale situazione in Italia”.

Numerosi e significativi sono stati i lavori scientifici presentati dai componenti del GdS che hanno inteso fornire una panoramica degli studi e delle iniziative in corso, a livello europeo e nazionale, sulle strategie per la gestione della qualità dell’aria *indoor*, sui criteri e sui metodi di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici.

In questo rapporto vengono riportate le relazioni presentate nel corso della giornata di studio.

Il GdS, visto l’interesse suscitato nel corso del workshop del 2012, ha un programma di altrettante iniziative allo scopo di rendere noto i risultati di attività svolte e lo stato di avanzamento di quelle in corso.

Loredana Musmeci
*Direttore del Dipartimento Ambiente
e Connessa Prevenzione Primaria*

Sergio Fuselli
Coordinatore del GdS

PROGRAMMA NAZIONALE PER LA TUTELA E LA PROMOZIONE DELLA SALUTE NEGLI AMBIENTI CONFINATI

Annamaria de Martino
Direzione Generale della Prevenzione, Ministero della Salute, Roma

Introduzione

Le malattie cronic-degenerative sono tra le principali cause di morbosità e mortalità in tutto il mondo. Alla base dell'aumento della loro prevalenza non c'è solo l'invecchiamento progressivo della popolazione – negli ultimi anni si registra un incremento delle patologie croniche anche nei giovani e nei bambini – ma entrano in gioco fattori di rischio modificabili, legati a stili di vita, a determinanti ambientali e a disuguaglianze socioeconomiche.

Tra le malattie croniche, le malattie respiratorie, l'asma e le allergie rappresentano una vasta gamma di gravi condizioni patologiche, per le quali si prevede un trend in crescita per i prossimi anni. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), l'aumento della frequenza di tali patologie è correlabile a cambiamenti degli stili di vita, a fenomeni di urbanizzazione e alla crescente tendenza delle popolazioni occidentali a vivere gran parte del tempo in ambienti chiusi (*indoor*), scarsamente ventilati, con microclima caldo-umido e presenza di elevati livelli di inquinanti chimici e di allergeni.

Recentemente l'Unione Europea ha intensificato i suoi sforzi nella lotta alle malattie croniche nell'infanzia e nell'adolescenza ed ha promosso importanti iniziative, volte a sensibilizzare le istituzioni sanitarie affinché adottino nei loro programmi un approccio preventivo intersettoriale della "salute in tutte le politiche", fondato sulla creazione di sinergie tra politiche della salute, dell'istruzione, dell'ambiente, del lavoro e della ricerca.

Qualità dell'aria *indoor* e salute

L'inquinamento dell'aria atmosferica è un problema conosciuto da tempo e notevolmente dibattuto sia a livello scientifico che di opinione pubblica. Negli ultimi decenni, tuttavia, l'attenzione del mondo scientifico e istituzionale si è rivolta in modo particolare ai problemi correlati alla qualità dell'aria degli ambienti confinati (*indoor*) ed è maturata una sempre maggiore sensibilità e consapevolezza sull'importanza delle problematiche di salute e comfort tipiche degli ambienti confinati.

Un argomento di particolare interesse e di notevole rilevanza sociale è quello inerente i rapporti tra inquinamento dell'aria *indoor* e la salute respiratoria delle persone che trascorrono molto tempo negli ambienti chiusi, adibiti a dimora, svago, studio, lavoro e trasporto. L'apparato respiratorio rappresenta, infatti, la porta d'ingresso di vari contaminanti *indoor* aerodispersi; si tratta soprattutto di prodotti della combustione, agenti biologici/bioaerosol (virus, batteri, funghi, prodotti di animali domestici, ecc.), Composti Organici Volatili (COV), radon (e suoi prodotti di decadimento) e monossido di carbonio.

L'uomo inala dai 10.000 ai 20.000 litri d'aria al giorno e la maggior parte dell'aria inspirata proviene dagli ambienti *indoor*. In Europa la popolazione spende fino al 90% del tempo negli ambienti *indoor*: il 55% nelle abitazioni, il 33% negli ambienti di lavoro, il 4% negli altri ambienti chiusi e solo il 4% all'aperto.

In generale, gli inquinanti sono presenti nell'aria *indoor* in concentrazioni tali che, pur non determinando effetti acuti, sono tuttavia causa di effetti negativi sul benessere e sulla salute dell'uomo, soprattutto se legati ad un elevato tempo di esposizione. Le miscele complesse di inquinanti, anche a basse concentrazioni, possono provocare nel tempo effetti nocivi sulla salute delle persone suscettibili: bambini, donne in gravidanza, persone anziane, persone sofferenti di asma, malattie respiratorie e cardiovascolari. Il rischio di danni per la salute è in relazione all'esposizione (ovvero alla concentrazione integrata per il tempo) e alla suscettibilità delle persone esposte.

L'inquinamento dell'aria *indoor* assume, pertanto, particolare rilievo in sanità pubblica, perché le persone più esposte sono quelle più vulnerabili, che trascorrono un tempo maggiore negli ambienti chiusi e soprattutto in virtù del fatto che molte delle principali patologie croniche, a carico dell'apparato respiratorio, della cute, delle mucose esposte, del sistema nervoso e del sistema immunologico (asma, febbre da umidificatori, alveolite allergica, legionellosi, ecc.) sono correlate a diversi aspetti dell'IAQ (*Indoor Air Quality*). Oltre a queste patologie ben definite si possono manifestare sintomatologie, molto frequenti, caratterizzate da effetti neurosensoriali che determinano condizioni di malessere, diminuzione del comfort degli occupanti e percezione negativa della qualità dell'aria. In questo contesto la "sindrome dell'edificio malato" o *Sick-Building Syndrome* (SBS) viene definita come una sindrome caratterizzata da sintomi che vengono lamentati dalla maggior parte degli occupanti di un edificio, attribuibile a cause in parte ancora poco conosciute; i sintomi scompaiono dopo l'allontanamento dall'edificio "malato".

Impatto dell'inquinamento *indoor* in Italia

In Italia numerosi studi sull'esposizione quotidiana dimostrano che gli stessi inquinanti presenti nell'aria esterna, sottoposti a limiti dalle leggi ambientali, sono normalmente presenti all'interno degli ambienti confinati e, nel caso di sorgenti significative interne e/o in condizioni di scarsa areazione, le concentrazioni *indoor* possono raggiungere valori considerevolmente superiori rispetto a quelli misurati all'esterno. Dei numerosi inquinanti considerati dalle leggi vigenti, soltanto l'ozono e il biossido di zolfo sono prevalenti nell'aria *outdoor*.

È importante sottolineare che per una valutazione corretta dell'esposizione personale è necessaria la caratterizzazione dell'esposizione personale complessiva ad agenti aerodispersi, che tenga conto sia dell'esposizione negli ambienti *indoor* che dell'esposizione che si verifica all'esterno.

Le esposizioni *indoor* sono di gran lunga maggiori di quelle *outdoor*, principalmente perché la quantità di tempo trascorso dalle persone all'interno degli edifici, rispetto a quello trascorso all'esterno, è di un ordine di grandezza maggiore. L'osservazione del tempo trascorso dai cittadini italiani in tutti gli ambienti *indoor* porta la percentuale media a 89%, con valori che oscillano tra 84% e 93%.

Non vi è dubbio che l'inquinamento *indoor* deve essere considerato un vero problema di sanità pubblica nel nostro Paese, in quanto determina un impatto sulla popolazione in termini non solo di effetti sanitari, costi diretti per l'assistenza medica, ma di ordine economico generale.

Anche se non sono disponibili dati e informazioni del tutto esaurienti si può stimare che il danno economico e sociale attribuibile all'inquinamento *indoor* è verosimilmente elevato, come dimostra la Tabella 1.

Tabella 1. Valutazione quantitativa dell'impatto sulla salute della popolazione e dei costi diretti per l'assistenza sanitaria attribuibili ogni anno agli inquinanti *indoor* in Italia

Inquinante	Malattia	Impatto sanitario	Costi diretti (in euro)
Allergeni (acari, muffe, forfore animali)	Asma bronchiale (bambini/adolescenti)	>160.000 casi prevalenti /anno	>80 milioni
Radon	Tumore del polmone	1.500- 6.000 decessi /anno	25-105 milioni
Fumo di tabacco ambientale	Asma bronchiale (bambini/adolescenti)	>30.000 casi prevalenti/anno	> 15 milioni
	Infezioni acute delle vie aeree superiori e inferiori	>50.000 nuovi casi /anno	non valutabile
	Tumore del polmone	>500 decessi /anno	> 9 milioni
	Infarto del miocardio	>900 decessi/anno	> 7,5 milioni
Benzene	Leucemia	36-190 casi/anno	0,5-3,5 milioni
Monossido di carbonio (CO)	Intossicazione acuta da CO	>200 decessi/anno	0,5 milioni

Esposizioni *indoor* e salute dei bambini

I bambini sono particolarmente suscettibili all'effetto degli inquinanti *indoor*. La presenza di numerosi inquinanti, in primo luogo il fumo passivo e il clima caldo-umido delle abitazioni (favorente la crescita degli acari e di funghi nella polvere domestica), hanno sicuramente contribuito all'aumento dell'incidenza e della prevalenza di patologie respiratorie croniche, asma e allergie nell'infanzia.

Si stima che in Europa l'inquinamento *indoor* sia responsabile del 4,6% delle morti per tutte le cause e il 31% delle inabilità DALY (*Disability Adjusted Life Years*) nei bambini da 0 a 4 anni di età (1). A fronte della maggiore suscettibilità dei bambini alle esposizioni *indoor*, l'aria degli ambienti di vita dove trascorrono più tempo, la casa e la scuola (percepiti come ambienti tra i più sicuri), spesso risulta contaminata da livelli significativi di sostanze inquinanti, con gravi rischi per la salute.

Nelle abitazioni i livelli di prodotti della combustione (ossido di carbonio, biossido di azoto) durante la cottura dei cibi con stufe a gas o durante l'uso di stufe a cherosene possono raggiungere livelli particolarmente elevati e nocivi per la salute respiratoria dei bambini.

Inoltre, negli ambienti domestici sono estremamente diffusi gli allergeni *indoor* (acari della polvere, muffe, scarafaggi e forfore di animali domestici) responsabili di una proporzione considerevole delle malattie allergiche nell'infanzia. Numerosi studi condotti sugli ambienti domestici hanno definitivamente dimostrato il ruolo degli allergeni derivati dagli acari, dai derivati epiteliali di gatto e dagli scarafaggi nel determinismo delle patologie allergiche. A tutt'oggi esiste un minor numero di studi sugli altri ambienti *indoor*. Pochi studi sono stati condotti sulla qualità dell'aria nelle scuole italiane dove i ragazzi sono obbligati a trascorrere da 4 a 8 ore al giorno per almeno 10 anni.

Gli studi condotti in Europa, già negli anni '90 del secolo scorso, hanno dimostrato come l'asma corrente in bambini e adolescenti sia risultata positivamente associata a molti fattori presenti nell'ambiente scolastico, fra cui l'umidità, i COV, inclusa la formaldeide, le muffe, i batteri e gli allergeni. Recenti studi condotti in scuole del Nord-Europa e in Italia (*Health Effects of School Environment*, HESE; *School Environment and Respiratory health of Children SEARCH*; ecc.), in particolare in Danimarca, hanno evidenziato che una qualità dell'aria e delle condizioni microclimatiche non ottimali possono influenzare negativamente anche la performance del lavoro scolastico degli studenti.

Strategie di prevenzione

Numerose evidenze dimostrano che le misure di prevenzione volte a limitare l'inquinamento *indoor* (in particolare, fumo passivo e inquinanti derivati dalla combustione di biomasse) possono determinare importanti benefici per la salute respiratoria, specialmente nei bambini; inoltre la rimozione degli allergeni *indoor* causa un miglioramento della sintomatologia in pazienti allergici. Lo scopo principale della prevenzione è minimizzare i rischi per la salute presenti negli ambienti confinati e rendere l'aria *indoor* "accettabile", dal momento che una situazione senza rischi appare improbabile. L'aria *indoor* si definisce accettabile se non sono riscontrabili sostanze inquinanti in concentrazioni pericolose e la grande maggioranza, 80% o più degli occupanti, si trovi nelle condizioni di soddisfazione (2).

Migliorare l'aria degli ambienti chiusi è un problema complesso, multidisciplinare, correlato ad una molteplicità di fattori. Nell'aria degli ambienti chiusi, infatti, sono presenti diversi tipi di inquinanti che possono interagire fra di loro e anche le sorgenti sono diverse. Il 77% delle sorgenti sono interne agli edifici. L'entità delle emissioni è influenzata dalle attività degli occupanti e dalle condizioni degli edifici e, inoltre, vari aspetti della IAQ possono essere influenzati o soggetti ad interazioni con fattori fisici, quali le condizioni microclimatiche (temperatura e umidità), che mutano continuamente nel tempo.

Occorre sottolineare, inoltre, che nella maggior parte dei casi le persone abitualmente presenti negli ambienti confinati sono i principali responsabili dell'inquinamento e ne subiscono le conseguenze.

Per questo motivo, una corretta gestione dell'IAQ, deve prevedere oltre a standard e valori guida di qualità dell'aria anche interventi integrati con altre importanti iniziative di sanità pubblica, quali campagne di comunicazione e di educazione sanitaria.

Recentemente l'OMS per facilitare la definizione da parte dei governi europei di linee guida per migliorare l'IAQ e ridurre i rischi per la salute, ha pubblicato due importanti rapporti:

- *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*
linee guida del 2009 (3) che offrono una descrizione generale dei rischi per la salute correlati alla presenza di umidità e muffe negli edifici e forniscono una serie di indicazioni fondamentali per la loro individuazione e prevenzione.
- *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*
linee guida del 2010 (4) che definiscono i limiti per alcuni inquinanti *indoor* per i quali le conoscenze scientifiche relative agli effetti dannosi sull'uomo sono state giudicate sufficientemente accettabili. Le sostanze considerate sono benzene, biossido di azoto, formaldeide, idrocarburi policiclici aromatici (soprattutto benzo[a]pirene), monossido di carbonio, naftalene, radon, tricloroetilene e tetracloroetilene.

Iniziative del Ministero della Salute

Con il processo di devoluzione e di trasformazione, compiuto con la legge costituzionale n.3/2001 “Modifiche al titolo V della parte seconda della Costituzione”, nelle materie di competenza concorrente (come la tutela della salute) lo Stato può stabilire solo i principi fondamentali a lui riservati. In capo allo Stato ricade la potestà esclusiva nella determinazione dei livelli essenziali di assistenza, alle Regioni è affidata, invece, la potestà legislativa concorrente in materia di tutela della salute. Con l’evoluzione del quadro costituzionale, il ruolo del Ministero della Salute assume particolare rilievo nelle attività essenziali per la promozione della salute.

A livello nazionale sono state intraprese importanti iniziative per la promozione della salute negli ambienti *indoor* e per la prevenzione primaria degli effetti degli inquinanti sulla salute.

La Commissione *indoor*, istituita dal Ministero della Salute con DM 8.4 1998, ha condotto una indagine nazionale sullo stato dell’inquinamento *indoor* in Italia e individuato i settori prioritari di intervento. Sulla base delle indicazioni fornite dalla Commissione, il Ministero ha messo a punto specifici provvedimenti per il controllo dei principali inquinanti *indoor*, quali: fumo passivo, radon, Legionella, allergeni, ecc.

L’Accordo recante linee di indirizzo per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati, del 27 settembre 2001 (5), che propone un programma nazionale di prevenzione per contrastare i rischi per la salute connessi agli ambienti *indoor*, riveste, per gli operatori di sanità pubblica, una notevole importanza soprattutto per le seguenti ragioni:

- affronta questo spinoso problema, che ha interessato organismi sanitari sia nazionali che internazionali, con approccio multidisciplinare, stante il coinvolgimento di interessi non solo sanitari ma anche economici, e che trova soluzioni non solo di tipo impositivo ma soprattutto di tipo persuasivo (attraverso campagne di informazione e comunicazione);
- riconduce il tema della qualità dell’aria *indoor*, che storicamente è stata materia di studio, di insegnamento e di pratica professionale degli Igienisti, alla competenza delle istituzioni di sanità pubblica ed, in primis, al Dipartimento di prevenzione delle Aziende sanitarie locali, dopo la separazione post-referendaria della tutela della salute ambientale dalla tutela della salute umana.

Un ruolo importante, nell’attuazione dell’Accordo, spetta alle Amministrazioni Regionali che sono depositarie di specifiche funzioni e materie delegate in molti dei settori di competenza. Oltre agli interventi di tipo normativo, basati su standard di sanità pubblica, l’Accordo raccomanda la realizzazione di campagne formative del personale tecnico del Servizio sanitario nazionale e di quello operante in altri settori; campagne di informazione e di educazione sanitaria per i cittadini e il supporto di un piano nazionale finalizzato di ricerca.

Per facilitare l’attuazione dell’Accordo del 2001, il Ministero della Salute ha prodotto altre linee di indirizzo, specifiche per alcuni settori prioritari, tra cui le *Linee di indirizzo per la realizzazione di un programma di prevenzione nelle scuole per la riduzione dei fattori di rischio indoor per asma e allergie*, che il 18 novembre 2010 hanno acquisito la veste giuridica di Accordo tra Governo, Regioni, Province autonome di Trento e Bolzano, Province, Comuni.

Il provvedimento fornisce gli indirizzi fondamentali per delineare un programma integrato di interventi di prevenzione, da sviluppare nel contesto scolastico, volti a limitare il più possibile il contatto dei bambini allergici (e di tutto il personale scolastico) con i fattori di rischio *indoor* maggiormente implicati nell’induzione e nell’aggravamento delle allergie e l’asma e promuovere la realizzazione di ambienti scolastici salubri e sicuri.

Il documento propone azioni integrate e multidisciplinari che ricadono nei settori della prevenzione sanitaria e ambientale, comunicazione, educazione, istruzione e ricerca.

Il Ministero della Salute nel 2009 ha anche finanziato uno specifico progetto triennale del Centro per la prevenzione e controllo delle malattie: *Esposizione ad inquinanti indoor: linee guida per la valutazione dei fattori di rischio in ambiente scolastico e definizione delle misure per la tutela della salute con l'obiettivo di implementare nelle scuole primarie e secondarie di primo grado apposite linee guida sul controllo dei rischi correlati ad una cattiva IAQ.*

Recentemente, con l'intesa Stato Regioni del 29 aprile 2010, è stato varato il nuovo Piano Nazionale della Prevenzione 2010-2012 che, tra le linee centrali, ha incluso linee strategiche mirate a migliorare i requisiti igienici di IAQ nelle scuole e negli altri ambienti frequentati dai bambini.

Infine, nell'ambito della GARD-I (*Global Alliance against Chronic Respiratory Diseases*, GARD italiana) (un'alleanza volontaria che vede il Ministero della Salute e le principali associazioni di pazienti e società scientifiche italiane, collaborare per contrastare le malattie respiratorie croniche nel nostro Paese) è stato istituito il gruppo di lavoro *ad hoc* GARD-I per la prevenzione *indoor* nelle scuole, che ha condotto un'analisi di contesto sulla situazione dell'inquinamento *indoor* nelle scuole italiane, sui relativi rischi per la salute e proposto indicazioni tecniche per un'efficace attuazione delle strategie di prevenzione, basate sull'evidenza.

Tutte le iniziative sopraindicate sono coerenti con il Programma di Governo Guadagnare Salute, approvato dal Consiglio dei Ministri il 16 febbraio 2007, che mira a promuovere la salute in tutte le politiche e influire positivamente sugli stili di vita e sull'ambiente di vita del bambino e dell'adolescente.

Bibliografia

1. Valent F, Little D, Bertollini R, Nemer LE, Barbone F, Tamburini G. Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *The Lancet* 2004;363(9426):2032-9.
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta: ASHRAE; 1989. (ASHRAE Standard 62-1989).
3. World Health Organization. *WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2009. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf; ultima consultazione 24/6/2013.
4. World Health Organization. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf; ultima consultazione 8/3/2013.
5. Italia. Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: "Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati". *Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 276 - Supplemento Ordinario n. 252*, del 27/11/2001.

INQUINAMENTO DELL'ARIA IN AMBIENTI CONFINATI: ORIENTAMENTI E VALUTAZIONI IN CAMPO NAZIONALE E COMUNITARIO

Gaetano Settimo

Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Introduzione

La qualità dell'aria degli ambienti confinati è una questione complessa, e si può annoverare tra i problemi emergenti che i paesi industrializzati si trovano ad affrontare nell'ambito delle tematiche di salute pubblica. Tale problematica coinvolge, infatti, diversi aspetti diversificati quali quelli sociali, economici e industriali, legati alla promozione di uno sviluppo sostenibile.

È ormai un dato consolidato e condiviso che l'esposizione a composti chimici organici e inorganici, presenti, negli ambienti confinati, con diversi gradi di concentrazione, sia attribuibile a sorgenti identificabili all'interno stesso degli ambienti considerati. Tra queste vanno considerate, le attività delle persone, le caratteristiche costruttive degli ambienti, la cessione dai materiali, o da prodotti per applicazioni specifiche (quali per esempio pitture, vernici, lacche, primer, impermeabilizzanti, ecc.), la presenza di animali domestici, l'intrusione di vapori dal suolo sottostante, ecc. A dette sorgenti si aggiunge l'apporto dall'esterno (es. infiltrazioni, ricambio aria e sistemi di ventilazione soprattutto nel caso di una cattiva manutenzione, accesso di persone, ecc.). Tutto questo contribuisce alla qualità dell'aria in ambienti confinati e, di conseguenza, alla relativa quota di esposizione inalatoria della popolazione.

Detti aspetti sono anche definiti nel documento della Commissione Europea *Promoting actions for healthy indoor air (IAIAQ)* che illustra il ruolo e il grado di influenza delle sorgenti interne sulla qualità dell'aria degli ambienti confinati, per alcuni dei principali inquinanti regolamentati per l'aria ambiente (1).

Sempre a livello comunitario nel documento *L'ambiente in Europa — Stato e prospettive nel 2010: Sintesi* (2) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (*European Environment Agency, EEA*), si evidenzia come la qualità dell'ambiente all'interno degli edifici è influenzata dalla qualità dell'aria ambiente, dai materiali di costruzione e dalla aerazione, dai prodotti per i consumatori inclusi gli articoli per l'arredamento, tappeti, dagli elettrodomestici e dai prodotti per la pulizia della casa, dalle abitudini comportamentali degli occupanti, inclusa l'abitudine del fumo, e dal mantenimento dell'edificio (es. le misure per il risparmio energetico).

Sembra evidente quindi come, a livello comunitario, vi sia l'intenzione di promuovere una promozione integrata della qualità dell'aria negli ambienti confinati con l'obiettivo di ridurre drasticamente la presenza di inquinanti di varia natura.

Tale problematica, ormai ampiamente nota, preoccupa Governi di vari Paesi, anche in Italia con l'ultima "Relazione sullo Stato Sanitario del Paese 2009-2010" del Ministero della Salute (3), viene fatto osservare (voce I determinanti della salute - 1. Ambiente, punto 1.2 Aria *indoor*), come: l'inquinamento dell'aria degli ambienti confinati (*indoor*), non industriali, in particolare quelli adibiti a dimora, svago, lavoro (es. uffici) e trasporto, rappresenta un importante problema di sanità pubblica, con grandi implicazioni sociali ed economiche. Gli agenti inquinanti sono presenti in concentrazioni tali che, pur non determinando effetti acuti, sono tuttavia causa di

effetti negativi sul benessere e sulla salute dell'uomo, soprattutto se legati a un elevato tempo di esposizione.

L'attuale situazione normativa nei diversi Stati membri, risulta carente, e al di là delle forti differenze nazionali, provoca di conseguenza un divario di protezione igienico- sanitaria e ambientale tra i vari paesi (es. assenza di norme e di controlli). Per risolvere tale divario, occorre procedere ad iniziative di armonizzazione, stabilendo allo stesso tempo gli elementi (es. le strategie, le metodiche di prelievo e di analisi) e i parametri che devono essere considerati per il controllo degli inquinanti negli ambienti confinati.

Altro requisito fondamentale per una corretta comprensione dei fenomeni di inquinamento della qualità dell'aria negli ambienti confinati, deve essere la disponibilità di informazioni attendibili e raccolte in modo sistematico, secondo protocolli prestabiliti, sulla quantità, natura e origine degli inquinanti.

A tale proposito si ricordano le attività del Comitato Normativo Europeo (*Comité Européen de Normalisation*, CEN) e dell'*International Organization for Standardization* (ISO), che forniscono una serie di indicazioni specifiche sulle procedure operative con cui effettuare i controlli.

Per quanto riguarda la situazione italiana, non esiste attualmente una normativa di riferimento in materia, tuttavia nel nostro Paese in questi anni è cresciuta sensibilmente la consapevolezza della problematica *indoor*, con l'attivazione di gruppi di lavoro specifici che hanno affrontato in modo diverso la questione. Pertanto fino ad oggi le maggiori informazioni riguardo alcuni valori di guida o di riferimento negli ambienti confinati da utilizzare per un primo confronto, sono quelli che possono essere reperiti nella letteratura scientifica o nelle esperienze riportate da gruppi di lavoro *ad hoc*, o nella normativa di altri paesi europei (4-15) o, per analogia, ad altri standard quali ad esempio quelli relativi all'aria ambiente (16, 17).

Linee guida e indicazioni tecniche

L'attività della Commissione europea è stata caratterizzata nel corso degli ultimi venticinque anni da una crescente attenzione nei confronti dell'inquinamento *indoor*.

Esistono numerosi studi finanziati – come THADE project (*Towards Health Air in Dwellings in Europe*) (18), EnVIE project (*Indoor Air Quality and Health Effects*) (19), AIRMEX project (*European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project*) (20), EXPOLIS Study (21) – che hanno cercato almeno in parte, di accrescere il quadro conoscitivo sul tema e di definire delle priorità o obiettivi da raggiungere.

Nell'affrontare le complesse problematiche connesse agli ambienti confinati la Commissione, nell'ambito dell'Azione concertata *European Collaborative Action (ECA) sull'Indoor Air Quality and its Impact on Man* attualmente *Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure*, ha attuato una collaborazione multidisciplinare tra studiosi che si è occupata in maniera integrata degli aspetti legati agli ambienti *indoor* (sorgenti, qualità e quantità di prodotti chimici e biologici, comfort termico, consumo di energia e ventilazione) realizzando una serie di report/monografie specifiche. In Tabella 1, si riporta un elenco di report prodotti dall'ECA.

Per quanto riguarda i livelli emissivi prodotti dai materiali, in Europa, c'è stato in questi anni un crescente interesse a rendere obbligatoria l'etichettatura con l'indicazione delle loro emissioni, prima che siano immessi sul mercato.

Tabella 1. Elenco cronologico dei rapporti dell' ECA sull'inquinamento *indoor*

Numero di Report/anno	Titolo
Report 01 1988	Radon in <i>indoor</i> air
Report 02 1989	Formaldehyde emission from wood-based materials: guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers
Report 03 1989	<i>Indoor</i> pollution by NO ₂ in European countries
Report 04 1989	Sick building syndrome - a practical guide
Report 05 1989	Project inventory
Report 06 1989	Strategy for sampling chemical substances in <i>indoor</i> air
Report 07 1990	<i>Indoor</i> air pollution by formaldehyde in European countries
Report 08 1991	Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from <i>indoor</i> materials and products using small test chambers
Report 09 1991	Project inventory - 2nd updated edition
Report 10 1991	Effects of <i>indoor</i> air pollution on human health
Report 11 1992	Guidelines for ventilation requirements in buildings
Report 12 1993	Biological particles in <i>indoor</i> environments
Report 13 1993	Determination of VOCs emitted from <i>indoor</i> materials and products. Interlaboratory comparison of small chamber measurements
Report 14 1994	Sampling strategies for volatile organic compounds (VOCs) in <i>indoor</i> air
Report 15 1995	Radon in <i>indoor</i> air
Report 16 1995	Determination of VOCs emitted from <i>indoor</i> materials and products; second interlaboratory comparison of small chamber measurements
Report 17 1996	<i>Indoor</i> Air Quality and the use of Energy in Buildings
Report 18 1997	Evaluation of VOC emissions from building products: solid flooring materials
Report 19 1997	Total volatile organic compounds (TVOC) in <i>indoor</i> air quality investigations
Report 20 1999	Sensory evaluation of <i>indoor</i> air quality
Report 21 1999	European Interlaboratory Comparison on VOCs emitted from building materials and products
Report 22 2000	Risk assessment in relation to <i>indoor</i> air quality
Report 23 2003	Ventilation, good <i>Indoor</i> air quality and rational use of energy
Report 24 2005	Harmonisation of <i>indoor</i> material emissions labelling systems in the EU
Report 25 2006	Strategies to determine and control the contributions of <i>indoor</i> air pollution to total inhalation exposure (STRATEX)
Report 26 2007	Impact of Ozone-initiated Terpene Chemistry on <i>Indoor</i> Air Quality and Human Health
Report 27 2012	Harmonised Framework for <i>Indoor</i> Material Labelling Schemes

Nell'ultimo rapporto *Harmonised Framework for Indoor Material Labelling Schemes*, si evidenziano gli sforzi crescenti e le diversità di approccio e impostazioni adottate dagli organismi dei diversi Paesi europei, nella definizione dei test e delle valutazioni delle emissioni. Questo rapporto costituisce un punto di riferimento per armonizzare i diversi sistemi di etichettatura dei materiali sviluppati, individuando le possibili sovrapposizioni esistenti nei test, le metodologie, l'utilizzo del parametro TVOC e le valutazioni sensoriali (ISO 16000-28). Vengono riportate le indicazioni delle norme da utilizzare emanate dai Comitati CEN e ISO, che hanno predisposto parti specifiche della norma EN ISO 16000: parte 9, 10, 11, 23, 24, 25.

Tra i più importanti studi realizzati a livello europeo c'è il progetto INDEX (*Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor exposure Limits in the EU*) coordinato e realizzato dal *Joint Research Centre* di Ispra (Varese) che ha potuto usufruire di esperti in vari

campi (22). Complessivamente le attività dello studio, hanno consentito di individuare, attraverso un processo a stadi, una lista di sostanze prioritarie per la presenza negli ambienti confinati, per rilevanza tossicologica e per disponibilità di informazioni tossicologiche. Sulla base di tali informazioni sono stati considerati i seguenti composti: benzene, biossido di azoto, formaldeide, monossido di carbonio e naftalene, e per ognuno di essi inoltre sono stati indicati delle opzioni di gestione del rischio. L'esperienza sviluppata nell'INDEX è stata anche ripresa nei lavori dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per la predisposizione delle Linee guida per la qualità dell'aria *indoor* (23).

L'attenzione che da diversi anni si ha sul tema degli ambienti confinati, ha portato alcuni organismi scientifici internazionali, tra questi l'OMS, ad elaborare per la Regione Europea le linee guida per la qualità dell'aria *indoor* (23), relative ad un certo numero di inquinanti, spesso presenti in ambienti confinati per i quali le conoscenze scientifiche relative agli effetti sull'uomo sono state giudicate sufficientemente salde. Le sostanze considerate sono benzene, biossido di azoto, idrocarburi policiclici aromatici (soprattutto benzo[a]pirene), naftalene, monossido di carbonio, radon, tricloroetilene e tetracloroetilene. In particolare per gli inquinanti ad azione cancerogena, l'OMS fornisce un calcolo del rischio unitario per la popolazione generale associato alla loro presenza nell'aria. Le linee guida OMS costituiscono una base per la fissazione delle relative norme legislative (limiti) adottate da vari Paesi e anch'esse vanno sottoposte a periodica revisione dall'ufficio OMS competente. I valori guida di inquinanti nell'aria sono molto esigui a fronte del notevole numero di inquinanti riscontrabili negli ambienti confinati.

Come precedentemente detto, in Italia finora non esiste una normativa di riferimento; nella legislazione italiana il termine di inquinamento negli ambienti confinati, è stato introdotto ancora una volta, con l'accordo siglato tra il Ministero della Salute, le regioni e le provincie autonome concernente: "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" (Accordo 27 settembre 2001); tuttavia detta linea guida è ancora lontana dal fornire, indicazioni sui tempi e sulle procedure da utilizzare, sui valori guida, o standard da adottare, ecc.. Tale accordo, può rappresentare però un utile e importante contributo al perseguimento della fissazione dei valori guida, e alla individuazione delle metodiche di prelievo e analisi, di riferimento da utilizzare per il confronto con tali valori. In questa situazione resta forte, nel nostro paese, l'esigenza di operare un rinnovamento con l'elaborazione di un testo unico, in materia di inquinamento *indoor*, che non può non recepire le proposte già elaborate dall'OMS.

Va fatto osservare come nella Circolare del Ministero della Sanità n. 57 del 22 giugno 1983 "Usi della formaldeide - Rischi connessi alle possibili modalità d'impiego", veniva riportato un limite massimo di esposizione di 0,1 ppm ($124 \mu\text{g}/\text{m}^3$) negli ambienti di vita e di soggiorno in via sperimentale e provvisoria. Orientamento confermato nel decreto del 10 ottobre 2008 "Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno". Per quanto riguarda le metodiche da utilizzare per le misurazioni delle concentrazioni, il decreto del 2008 riporta i riferimenti dei metodi UNI ovvero: UNI EN 717-1:2004 Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide con il metodo di camera; UNI EN 717-2: 1996 corretta nel 2004 Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide con il metodo dell'analisi dei gas.

Nel contesto europeo, diversi Paesi in questi anni hanno attivato dei gruppi di lavoro con specifico mandato di elaborare valori guida per la qualità dell'aria negli ambienti confinati; tra questi la Germania, con il *Working Group on Indoor Guideline Values of the Federal Environmental Agency and the States Health* (AG IRK/AOLG 2008) (4), che ha utilizzato una metodologia a partire dal LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), ovvero livello più basso di esposizione ad una sostanza tossica, per il quale sono stati osservati effetti negativi per la salute, introducendo dei fattori sicurezza (es. differenze inter e intraspecie e di esposizione).

Diverso invece appare l'orientamento del Regno Unito che, con la Commissione sugli effetti per la salute umana dell'inquinamento atmosferico (*Committee On The Medical Effects Of Air Pollutants*, COMEAP) (5), ha elaborato valori guida sulla base degli studi OMS; lo stesso ha fatto la Francia, grazie alla collaborazione tra il *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) e la *Agence Francaise de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail* (AFSSET) (6-8); il gruppo di lavoro ha elaborato una lunga serie di studi per arrivare come risultato alla elaborazione di valori guida per 8 sostanze quali: acido cianidrico, monossido di carbonio, benzene, formaldeide, tricloroetilene, tetracloroetilene, naftalene, PM₁₀ e PM_{2,5}. Accanto alle indicazioni AFSSET ricordiamo quelle individuate dall'Alto Consiglio di Sanità Pubblica (*Haut Conseil de la Santé publique*, HCSP), che ha elaborato una serie di documenti di sui valori di azione e di lungo periodo per la valutazione della qualità dell'aria *indoor* (9).

Anche i Paesi Bassi con i lavori del *National Institute for Public Health and the Environment* (RIVM 2004, 2007) (10), ha ottenuto dei valori guida a partire dal MPR (*Maximum Permissible Risk*), che rappresenta il livello di esposizione ad una sostanza tossica per il quale non si hanno effetti negativi sulla salute.

Tra i Paesi nordici, per esempio la Finlandia, con il gruppo di lavoro coordinato dal Ministero degli Affari Sociali e della Sanità, ha elaborato valori guida per 5 sostanze quali: ammoniaca, monossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno solforato e PM₁₀, che sono stati proposti nei decreti del *Ministry of the Environment Housing and Building Department D2 National Building Code of Finland-Indoor Climate and Ventilation of Buildings Regulations and Guidelines* (11), entrati in vigore già dal 1° ottobre 2003. Mentre per gli altri inquinanti è possibile ricavare valori guida utilizzando come approccio quello di un 1/10 dei limiti per gli ambienti di lavoro industriali (OEL). Se sono presenti più sostanze si applica la formula: $\sum (Ci/OEL) > 0,1$, dove Ci è la concentrazione misurata della singola sostanza. I valori guida per gli ambienti confinati si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso. Accanto a questi riferimenti sono presenti quelli elaborati dalla *Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate Classification* (12), iniziativa voluta e finanziata dal Ministero dell'ambiente in collaborazione con gli esperti dei produttori e dei professionisti del settore dei materiali, che ha portato alla individuazione dei valori obiettivo definiti come classe S1, S2 ed S3.

Per quanto riguarda il Belgio, invece, nella Regione fiamminga il Governo ha fissato con decreto entrato in vigore il 1° ottobre 2004, dei valori di riferimento per 15 sostanze (quali acetaldeide, formaldeide, aldeidi totali, benzene, asbesto, anidride carbonica, biossido di azoto, toluene, ozono, monossido di carbonio, composti organici volatili, tricloroetilene, tetracloroetilene, PM₁₀ e PM_{2,5}) (per 5 di queste sostanze sono stati individuati anche una categoria di livelli di concentrazione definiti come valori di intervento ovvero concentrazioni delle sostanze corrispondenti ad un livello di rischio massimo ammissibile che non può essere superato). Un altro aspetto interessante presente nel decreto, è che nel caso in cui venga richiesto un intervento sul campo da parte degli esperti dell'ispettorato della salute, e che le risultanze analitiche di tale indagine, evidenzino condizioni di criticità legate alla negligenza del proprietario o dell'occupante, il responsabile dell'ispettorato addebita i costi dell'intervento al richiedente (13).

In Austria alla fine degli anni '90 del secolo scorso, il Ministero dell'Ambiente in collaborazione con l'Accademia delle Scienze, istituiva un gruppo di lavoro interdisciplinare per la stesura di valori guida per gli ambienti *indoor*, utilizzando una metodologia a partire dal NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), ovvero dose senza effetto avverso osservabile per un'esposizione ad una sostanza tossica. Con questo approccio sono stati sviluppati valori guida per 6 sostanze, quali: formaldeide, stirene, toluene, anidride carbonica, composti organici volatili e tricloroetilene (14).

Anche il Portogallo, nell'aprile del 2006, con il decreto n. 79, del Ministero dei lavori pubblici, dei trasporti e delle comunicazioni (15), ha fissato delle concentrazioni massime di riferimento per 6 sostanze quali: PM₁₀, anidride carbonica, monossido di carbonio, ozono, formaldeide, composti organici volatili totali. Il decreto in vigore dal giugno del 2006, inoltre istituisce l'obbligatorietà del monitoraggio legato al tipo e alle dimensioni dell'edificio, e prevede azioni correttive entro 30 giorni, se a seguito del monitoraggio le concentrazioni degli inquinanti, presentano livelli superiori a quanto previsto nell'articolo 29 comma 8 del decreto, inoltre il proprietario o l'inquilino dovrà presentare, entro i successivi 30 giorni, i risultati ottenuti dalle nuove misurazioni effettuate. Quando una delle condizioni sopra citate non viene soddisfatta, il proprietario o l'inquilino, è soggetto alle sanzioni previste nel decreto, quali ad esempio la chiusura immediata dell'appartamento o il pagamento di una multa.

In tutti i Paesi, i valori guida proposti, sono correlati dai relativi metodi di prelievo ed di analisi messe a punto o recepiti dai vari organismi di formazione nazionali, *German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung, DIN)*, *Association Française de Normalisation (AFNOR)*, *Bureau de Normalisation (NBN)*, *Finnish Standards Association (SFS)*, *Austrian Standards Institute (ASI)*, *Nederlands Normalisatie Instituut (NEN)*, *British Standards Institution (BSI)*, per una corretta valutazione (es. strategia di campionamento e analisi). Va tenuto ben conto che, il valore guida o di riferimento deve essere sempre correlato al metodo di campionamento e analisi da adottare per la sua verifica.

In Tabella 2, si riportano una serie di valori guida, presenti nei documenti ufficiali, per selezionati inquinanti tra cui quelli considerati nelle linee guida OMS.

Per tutti questi Paesi ad eccezione di Belgio, Finlandia, Portogallo e Francia (per benzene, formaldeide e biossido di carbonio), i valori guida raccomandati, non hanno valore legale, anche se nella pratica hanno raggiunto una notevole importanza. Questi valori se correttamente utilizzati, possono permettere una migliore valutazione della qualità dell'aria negli ambienti confinati.

Recentemente la Francia, ha attuato un piano di interventi mirati con l'emanazione della legge n. 2010-788 del 12 luglio 2010, impegno nazionale sull'ambiente, che istituisce l'obbligatorietà del monitoraggio periodico a proprie spese della qualità dell'aria negli ambienti confinati e la responsabilità dei proprietari o degli occupanti, che entrerà in vigore gradualmente a partire:

- dal 1° gennaio 2015 per ambienti confinati quali: centri ricreativi, piscine, strutture sanitarie, servizi sociali e asili nido con bambini sotto i 6 anni,
- dal 1° gennaio 2018 istituti d'istruzione elementari,
- prima del 1° gennaio 2020 per strutture di detenzione minorile e istituti d'istruzione o di formazione professionale di primo e secondo grado,
- e dal 1° gennaio 2023 per tutti gli altri ambienti confinati.

Per le strutture aperte al pubblico dopo queste date, il primo monitoraggio periodico deve essere effettuata entro e non oltre il 31 dicembre dell'anno successivo l'apertura della struttura. Il mancato rispetto dei termini di attuazione di tale obbligo, viene punito con una multa. Il controllo dell'ambiente confinato attraverso il monitoraggio degli inquinanti deve essere ripetuto ogni sette anni, salvo il caso in cui almeno uno degli inquinanti misurati nel corso del monitoraggio, presenti livelli superiori a quanto previsto nei citati decreti. In questo caso, il monitoraggio dell'ambiente confinato deve essere effettuato entro due anni.

Ma già con la legge n. 2008-757 del 1° agosto 2008, era stato introdotto l'obbligo di definire per decreto del Consiglio di Stato, le linee guida per la qualità dell'aria *indoor* negli edifici pubblici, ha portato alla emanazione di due importanti decreti n. 1727 e 1728 del 2 dicembre 2011, del Ministero dell'Ecologia che riportano i valori guida per la formaldeide e benzene, in ambienti confinati quali: asili, scuole, centri ricreativi, piscine, strutture sanitarie, servizi sociali e strutture di detenzione minorile.

Tabella 2. Valori guida di qualità dell'aria* di alcuni Paesi europei e rischio unitario (Unit Risk, UR)** relativi ad alcuni inquinanti

Inquinante unità di misura	OMS aria ambiente (16, 17)	OMS indoor (23)	Francia (6-9)	Germania (4)	Paesi Bassi (10)	Regno Unito (5)	Belgio (13)	Finlandia *** (11)	Austria (14)	Portogallo (15)
Benzene µg/m ³	No VG 1,7 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 17 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 1,7 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 17 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	30 (1 g) 10 (1 a) 5 da 1/1/2013, 2 da 1/1/2016 LP da OMS: 0,2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	4 (7 gg)	20 120 (30 min) 10 (1 a) 1,2 (LP)	5 (1 a)	≤ 2 10	-	-	-
Formaldeide µg/m ³	100 (30 min)	100 (30 min)	50 (2 h) 10 (1 a) 30 da 1/1/2015 10 da 1/1/2023 AR: 100 LP: 10 da 2019 (2012 nuovi edifici) 30 (2009) 50 (2009)	12	120 (30 min) 10 (1 a) 1,2 (LP)	100 (30 min)	≤ 10 (30 min) 100 (30 min)	50	100 (30 min) 60 (24 h)	100
CO mg/m ³	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 35 (1 h) 10 (8 h) 7 (24 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	60 (30 min) 15 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	5,7 (24 h) 30 (1 h)	8	-	12,5
NO₂ µg/m ³	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	350 (30 min) 60 (7 gg)	200 (1 h) 40 (1 a)	300 (1 h) 40 (1 a)	≤ 135 (1 h) 200 (1 h)	-	-	-
Naftalene µg/m ³	-	10 (1 a)	10 (1 a)	20-200 (7 gg)	25	-	-	-	-	-
Stirene µg/m ³	260 (7 gg) 70 (30 min)	-	-	30-300 (7 gg)	900	-	-	1	40 (7 gg) 10 (1 h)	-

segue

continua

Inquinante unità di misura	OMS aria ambiente (16, 17)	OMS indoor (23)	Francia (6-9)	Germania (4)	Paesi Bassi (10)	Regno Unito (5)	Belgio (13)	Finlandia *** (11)	Austria (14)	Portogallo (15)
IPA (BaP) ng/m ³	No VG 0,12 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 0,12 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	-	-	1,2	0,25 (1 a)	-	-	-	-
Tetracloro- etilene µg/m ³	250 (1 a)	250 (1 a)	1380 (1-14 gg) 250 (1 a)	1 (7 gg)	250	-	≤ 100	-	250 (7 gg)	-
Tricloroetilene µg/m ³	No VG 23 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 230 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 23 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 230 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	800 (14 gg-1 a) LP da OMS: 2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 20 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	1 (7 gg)	-	-	≤ 200	-	-	-
Diclorometano µg/m ³	3000 (24 h) 450 (7 gg)	-	-	200-2000 (24 h)	200 (1 a)	-	-	-	-	-
Toluene µg/m ³	260 (7 gg) 1000 (30 min)	-	-	300-3000 (1-14 gg)	200 (1 a)	-	≤ 260	-	75 (1 h)	-
COV µg/m ³	-	-	-	-	200 (1 a)	-	≤ 200	-	-	600
PM₁₀	50 (24 h) 20 (1 a)	-	50 (24 h) 20 (1 a)	-	50 (24 h) 20 (1 a)	-	≤ 40 (24 h)	50	-	150
PM_{2,5}	25 (24 h) 10 (1 a)	-	25 (24 h) 10 (1 a)	25 (24 h)	25 (24 h) 10 (1 a)	-	≤ 15 (1 a)	-	-	-

* I valori guida di qualità dell'aria *indoor* indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene.

** Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dall'OMS nel lavoro originale; la stima dell'incremento del rischio unitario è intesa come il rischio addizionale di tumore, che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano.

*** I valori guida per gli ambienti confinati si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso.
a: anno; g: giorno; gg: giorni min: minuti; AR: Azione Rapida; LP lungo periodo; No VG: No Valore Guida

I valori guida prevedono quattro fasi temporali scaglionati, dal 1/1/2013 al 1/1/2023:

- il 1° gennaio 2013, per il benzene un valore settimanale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- il 1° gennaio 2015, per la formaldeide un valore settimanale di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- il 1° gennaio 2016, per il benzene un valore settimanale di $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- il 1° gennaio 2023, per la formaldeide un valore settimanale di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Successivamente con decreto n. 2012-14, del 5 gennaio 2012, relativo alla misurazione di inquinanti quali formaldeide, benzene e biossido di carbonio, all'interno degli edifici pubblici aperti al pubblico, e alla valutazione del grado di ventilazione, sono stati definiti i compiti, le regole e le modalità di intervento da attuare in tale ambito.

Altri importanti decreti del Ministro dell'Ecologia, dell'Energia, dello Sviluppo sostenibile e del Mare, sono quelli del 23 marzo 2011 n. 2011-321, e del 19 aprile 2011 relativi all'etichettatura dei prodotti da costruzione e decorazione, con l'indicazione delle loro emissioni in termini di sostanze volatili inquinanti, che definiscono le caratteristiche emissive delle sostanze sulla base di misure effettuate dopo 28 giorni in camera o in cella di prova di emissione secondo una scala di quattro classi da A+ a C, dove la classe A+ indica un livello di emissione (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) molto poco elevato e la classe C un livello di emissione elevato (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La lista di sostanze o gruppi di sostanze considerate sono: formaldeide, acetaldeide, toluene, tetracloroetilene, xilene, 2,4-trimetilbenzene, 1,4-diclorobenzene, etilbenzene, n-butilacetato, 2-butossietanolo, stirene, e i Composti Organici Volatili totali (COVT) definiti come: somma dei composti organici volatili la cui eluizione avviene tra l'n-esano e l'n-esadecano compreso, che viene rilevata in base al metodo previsto dalla norma ISO 16000-6. Il decreto contiene gli scenari di esposizione, calcolati considerando un locale di riferimento convenzionale avente un volume totale (V) di 30 m^3 , all'interno del quale si applica un tasso di rinnovo (n) dell'aria di $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Inoltre il decreto del 19 aprile 2011, riporta i modelli e le caratteristiche dell'etichetta che deve accompagnare i prodotti, che deve avere una dimensione minima di $15 \times 25 \text{ mm}$.

Le disposizioni decreto si applicano dal 1° gennaio 2012, per i nuovi prodotti immessi sul mercato, e dal 1° settembre 2013, per i prodotti disponibili sul mercato prima di tale data.

In aggiunta alle indicazioni tecniche o a norme prodotte da alcuni Paesi, vanno ricordati i documenti di riferimento europeo, elaborati dagli organismi di normazione come il CEN e la ISO, che da tempo sono impegnati nello sviluppo di metodiche standardizzate con cui effettuare le misurazioni (metodologie di campionamento, di analisi e di valutazione dei livelli misurati) e riguardano le norme della serie EN ISO 16000: Aria in ambienti confinati, norme che sono state in parte recepite in Italia dall'UNI (Ente Italiano di Unificazione). La Tabella 3 riporta un elenco delle principali norme.

La concreta applicazione delle norme elaborate porteranno a superare situazioni di oggettiva difficoltà, soprattutto per gli organismi preposti al controllo. Allo stesso tempo, l'esigenza di elaborazione e sviluppo di nuove norme ha portato l'ISO, a proseguire i lavori della serie 16000, con l'emanazione di ulteriori specifiche norme e con l'attivazione della serie di norme 12219 *Interior air of road vehicles*. In Tabella 4, si riporta un elenco di norme ISO.

Va ricordato come i valori guida o di riferimento rappresentano un parametro, ma non il solo, su cui si deve fare riferimento per una valutazione del rischio. Infatti la vulnerabilità della popolazione e le condizioni di esposizione sono sicuramente fondamentali elementi da conoscere per una corretta comprensione del problema.

Anche lo *Scientific Committee on Health and Environmental Risks* (SCHER) della Commissione Europea, nel documento *Opinion on risk assessment on indoor air quality* (24), raccomanda proprio che la valutazione dei rischi sia sempre focalizzata sui gruppi più vulnerabili rappresentati da bambini, donne in gravidanza, persone anziane (over 65), persone sofferenti di asma e altre malattie respiratorie e malattie cardiovascolari, seguendo un approccio *case-by-case*.

**Tabella 3. Elenco Norme EN ISO per gli ambienti confinati
(in grigio le parti non ancora recepite in Italia dall'UNI)**

UNI EN ISO 16000	Aria in ambienti confinati
Parte 1	Aspetti generali della strategia di campionamento
Parte 2	Strategia di campionamento per la formaldeide
Parte 3	Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method
Parte 4	Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method
Parte 5	Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)
Parte 6	Determination of volatile organic compounds in <i>indoor</i> and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID
Parte 7	Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria
Parte 8	Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions
Parte 9	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in camera di prova di emissione
Parte 10	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in cella di prova di emissione
Parte 11	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Campionamento, conservazione dei campioni e preparazione dei provini
Parte 12	Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Parte 13	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans - Collection on sorbent-backed filters with high resolution gas chromatographic/mass spectrometric analysis
Parte 14	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls (PCBs) and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PCDDs/PCDFs) – Extraction, clean up, and analysis by high-resolutions gas chromatographic and mass spectrometric analysis)
Parte 15	Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO ₂)
Parte 16	Detection and enumeration of moulds. Sampling of moulds by filtration
Parte 17	Detection and enumeration of moulds. Culture-based method
Parte 18	Detection and enumeration of moulds. Sampling by impaction
Parte 26	Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO ₂)
UNI EN ISO 16017	Aria in ambienti confinati, aria ambiente e aria negli ambienti di lavoro. Campionamento e analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare
Parte 1	Campionamento mediante aspirazione con pompa
Parte 2	Campionamento per diffusione
UNI EN 13528	Qualità dell'aria ambiente Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e vapori. Requisiti e metodi di prova
Parte 1	Requisiti generali
Parte 2	Requisiti specifici e metodi di prova
Parte 3	Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione
UNI EN 13779	Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione
UNI EN 14412	Qualità dell'aria in ambienti confinati - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e di vapori guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione
UNI EN 15242	Ventilazione degli edifici: metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni
UNI EN 15251	Criteria per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica

Tabella 4. Elenco delle principali norme ISO prodotte per gli ambienti confinati

ISO 16000 Indoor air	
Part 19	Sampling strategy for moulds
Part 20	Detection and enumeration of moulds - Determination of total spore count
Part 21	Detection and enumeration of moulds - Sampling from materials
Part 23	Performance test for evaluating the reduction of formaldehyde concentrations by sorptive building materials
Part 24	Performance test for evaluating the reduction of volatile organic compound (except formaldehyde) concentrations by sorptive building material
Part 25	Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products -- Micro-chamber method
Part 27	Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (scanning electron microscopy) (direct method)
Part 28	Determination of odour emissions from building products using test chambers
Part 29	Test methods for VOC detectors
Part 30	Sensory testing of indoor air
Part 31	Measurement of flame retardants and plasticizers based on organophosphorus compounds - Phosphoric acid ester
Part 32	Investigation of buildings for pollutants and other injurious factors - Inspections
ISO 12219 Interior air of road vehicles	
Part 1	Whole vehicle test chamber - Specification and method for the determination of volatile organic compounds in cabin interiors
Part 2	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Bag method
Part 3	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Micro-scale chamber method
Part 4	Method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Small chamber method
Part 5	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Static chamber method
Part 6	Method for the determination of the emissions of semi-volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Small chamber method
Part 7	Odour determination in interior air of road vehicles and test chamber air of trim components by olfactory measurement

Infatti per i gruppi di individui particolarmente sensibili e vulnerabili potenzialmente esposti ai fattori di rischio in esame il problema della contemporanea presenza di più fattori di rischio, può richiedere l'esigenza di effettuare valutazioni specifiche approfondite, che debbono basarsi su di un'adeguata conoscenza del contesto.

Infatti va ricordato come i valori di riferimento per gli ambienti confinati, sono più severi, rispetto ai corrispondenti valori in ambienti industriali (*Threshold Limit Value*, TLV) i cui riferimenti igienico-sanitari sono basati su una vita lavorativa di 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana e per un periodo massimo di 40 anni, e rivolti alla protezione dei lavoratori contro le malattie professionali (per il rischio chimico i criteri da utilizzare per la valutazione sono specificati nel Titolo IX, Capo I del DL.vo n. 81/2008), in quanto sono intesi a:

- minimizzare i problemi di salute delle popolazioni più vulnerabili, come i giovani e gli anziani in cui l'esposizione può essere di 24 ore al giorno per 7 giorni alla settimana;
- promuovere il benessere, il comfort, che si ripercuote anche sull'apprendimento (es. nel caso di istituti scolastici), di tutti gli occupanti dell'ambiente confinato.

Attualmente vale la pena ricordare come siano a lavoro diverse Commissioni e gruppi di lavoro su problematiche che riguardano anche gli ambienti confinati, con lo scopo di costituire concreti punti di riferimento per gli operatori sia pubblici che privati.

Anche in Italia sono ormai numerosi gli studi aventi per oggetto l'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati, per tale motivo l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha attivato un apposito Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor*, nel quale sono rappresentate le varie componenti (Ministero della Salute, Regioni, istituti di ricerca, università, ecc.) che sta lavorando per fornire supporti scientifici e documenti condivisi per una corretta strategia di controllo degli ambienti confinati, al fine di consentire una omogeneità di azioni a livello nazionale, e portare un concreto contributo tecnico alla soluzione dei diversi problemi legati all'inquinamento *indoor*. Nello specifico il Gruppo di Studio ha elaborato un documento di riferimento sulle strategie di monitoraggio dei COV negli ambienti *indoor* (25). Questo riporta una serie di indicazioni su come operare in tali ambienti, sulla scelta dei punti nel quale effettuare i campionamenti, sulle tecniche di campionamento, conservazione e analisi, e sulla determinazione di altri parametri come quelli microclimatici di importanza strategica quali, ad esempio, la velocità dell'aria, la temperatura e l'umidità relativa.

Conclusioni

I problemi derivanti dall'esposizione ad inquinanti chimici negli ambienti confinati hanno già da tempo interessato il legislatore, a livello comunitario (Unione Europea, UE) e nazionale, e sempre più Paesi iniziano ad attuare la promozione di una politica in materia di ambiente e salute con specifici programmi di studio. Ad esempio, la Francia ha attuato in tale settore un piano di interventi mirati e con l'emanazione della legge n. 788/2010 del 12 luglio 2010, impegno nazionale sull'ambiente, istituisce l'obbligatorietà del monitoraggio periodico della qualità dell'aria negli ambienti confinati.

La Decisione n. 1600/2002/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 22 luglio 2002, che ha istituito il Sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente, ribadisce l'attenzione alle misure e alla valutazione della qualità dell'aria in ambienti chiusi e del relativo impatto sulla salute, con la formulazione di raccomandazioni in merito a misure future.

Risulta quindi di notevole importanza l'approfondimento della valutazione degli aspetti igienico-sanitari per gli ambienti confinati, in particolare per gli inquinanti organici e inorganici, sebbene ci sia una discreta conoscenza dei possibili livelli riscontrabili in diversi ambienti.

In alcuni Paesi, sono stati elaborati, valori guida specifici per la qualità dell'aria negli ambienti confinati, che sono divenuti dei punti di riferimento; oltre al valore guida sono stati forniti i metodi di campionamento e analisi da utilizzare nei controlli e nelle valutazioni. In altri paesi (es. Finlandia, Francia, ecc.) attraverso l'istituzione dell'obbligatorietà del monitoraggio della qualità dell'aria negli ambienti confinati, tali procedure sono già operative e vengono periodicamente applicate da appositi organismi governativi di controllo.

Pertanto attualmente, nel nostro Paese, in assenza di specifici atti normativi nazionali, che riportino in maniera univoca i valori guida o i riferimenti da adottare per le valutazioni, si può fare riferimento a criteri o a norme adottate in altri paesi o, utilizzare quelli che si possono reperire nella letteratura scientifica o, per analogia, ad altri standard quali ad esempio quelli relativi all'aria ambiente. Appare evidente come ormai risulti necessario predisporre valori guida o riferimenti anche per il territorio nazionale in accordo con le Linee guida per la qualità dell'aria *indoor* dell'OMS (23).

In altri Paesi tali procedure sono già operative e vengono applicate dagli appositi organismi governativi di controllo o dalle stesse imprese come autocontrollo.

Nell'attesa, risulta necessario poter utilizzare dei riferimenti affidabili e di riconosciuta validità scientifica. A tale proposito sono stati definiti o sono in corso di definizione una serie di documenti condivisi per una corretta strategia di controllo degli ambienti confinati, nell'ambito del Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor* dell'ISS.

Un obiettivo importante per il nostro Paese sarà, attraverso la promozione di specifici programmi e con un coordinamento tra i vari Enti preposti, la capacità in tempi brevi di adeguarsi agli obiettivi comunitari.

Bibliografia

1. Jantunen M, Oliveira Fernandes E, Carrer P, Kephelopoulos S. *Promoting actions for healthy indoor air* (IAIAQ). Luxembourg: European Commission Directorate General for Health and Consumers; 2011. Disponibile all'indirizzo: http://ec.europa.eu/health/healthy_environments/docs/env_iaiaq.pdf; ultima consultazione 31/10/2013.
2. Agenzia Europea per l'Ambiente. *L'ambiente in Europa — Stato e prospettive nel 2010: Sintesi*. AEA: Copenaghen; 2010. Disponibile all'indirizzo: <http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/translations/lambiente-in-europa-2014-stato>; ultima consultazione 31/10/2013.
3. Ministero della Salute. *Relazione sullo Stato Sanitario del Paese 2009-2010*. Roma: Ministero della Salute, Direzione Generale del Sistema Informativo e Statistico Sanitario; 2011. Disponibile all'indirizzo: http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1655_allegato.pdf; ultima consultazione 31/10/2013.
4. Innenraumlufthygiene-Kommission and the permanent working group of the Highest State Health Authorities (Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, AOLG). *Ad-hoc working group for indoor air guide values*. Umwelt Bundesamt; 1993. Disponibile all'indirizzo: <http://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/ad-hoc-working-group-for-indoor-air-guide-values>; ultima consultazione 31/10/2013.
5. Department Health - Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. *Guidance on the effects on health of indoor air pollutants*. COMEAP; 2004. Disponibile all'indirizzo: http://www.comeap.org.uk/images/stories/Documents/Reports/Effects_on_Health_on_Indoor_Pollutants.pdf; ultima consultazione 31/10/2013.
6. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire l'alimentation, de l'environnement et du travail. *Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI)*. Le Directeur Général Maisons-Alfort, ANSES; 2011. Disponibile all'indirizzo: <http://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>; ultima consultazione 31/10/2013.
7. Francia. Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène. *Journal Officiel de la République Française*, 4 décembre 2011.
8. Francia. Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public. *Journal Officiel de la République Française*, 4 décembre 2011.
9. Haut Conseil de la Santé publique (HCSP). *Valeurs Repères D'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Le formaldéhyde*. Paris: Ministère de la Santé et des Sports; 2009.
10. RIVM-National Institute for Public Health and the Environment. *Health-based guideline values for the indoor environment*. BA Bilthoven: RIVM; 2007. (Report 609021044/2007).
11. Finlandia. Ministry of the Environment, Housing and Building Department. *Indoor Climate and Ventilation of Buildings Regulations and Guidelines 2010*. Decree of the Ministry of the Environment on the indoor climate and ventilation of buildings. Disponibile all'indirizzo: <http://www.ym.fi/fi-FI/haku?n=25247&d=1&s=Indoor+Climate+and+Ventilation+of+Buildings>; ultima consultazione 31/10/2013.

12. Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate Classification. *Classification of indoor climate 2000*. Espoo, Finland: FiSIAQ; 2001. (publication 5 E)
13. Besluit van de Vlaamse Regering van 11 juni 2004 houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu (BS19.X.2004) 1. Belgio, Regione fiamminga; 11 giugno 2004. <http://www.ond.vlaanderen.be/edulex/database/document/document.asp?docid=13526>; ultima consultazione 31/10/2013.
14. Austria. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft & Österreichischen Akademie Der Wissenschaften - BMLFUW (2006): *Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft* am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung).
15. Portogallo. Ministério Das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.79/2006 de 4 de Abril. *Diário da República*, I SÉRIE-A N° 67-4 De Abril De 2006.
16. WHO. *Air quality guidelines for Europe. 2 ed.* Copenhagen: WHO Regional Publications; 2000. (European Series, No. 91).
17. WHO. *Air quality guidelines. Global Update 2005*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Regional Publications; 2006.
18. Franchi MA, Carrer P, Kotzias D, Rameckers Edith MAL, Seppänen O, van Bronswijk Johanna EMH, Viegì G. *Towards healthy air in dwellings in Europe*. Brussels: EFA Central Office; 2004. Disponibile all'indirizzo: <http://www.efanet.org/activities/documents/THADERReport.pdf>; ultima consultazione 31/10/2013.
19. de Oliveira Fernandes E, Jantunen M, Carrer P, Seppänen O, Harrison P, Kephapoulos S. *EnVIE co-ordination action on indoor air quality and health effects. Final activity report of EnVIE*. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006): 2009. Disponibile all'indirizzo: <http://paginas.fe.up.pt/~envie/finalreports.html>; ultima consultazione 31/10/2013.
20. Kotzias D, Geiss O, Tirendi S, Barrero J, Reina V, Gotti A, Cimino Reale G Marafante E, Sarigiannis D, Casati B. Exposure to Multiple Air Contaminants in Public Buildings, Schools and Kindergartens - The European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (AIRMEX) Study. *Fresenius Environmental Bulletin* 2009; 18 (5a): 670-81.
21. Jantunen MJ, Katsouyanni K, Knöppel H, Künzli N, Lebret E, Maroni M, Saarela K, Srám R, Zmirou D. *Air pollution exposure in European cities: the EXPOLIS study*. EU contracts ENV4-CT96-0202 (five centres) and ERB IC20-CT96-0061 (Prague) Final report /Air Pollution Exposure in European Cities: the EXPOLIS Study. Disponibile all'indirizzo: http://www.thl.fi/expolis/files/final_report.pdf; ultima consultazione 31/10/2013.
22. Kotzias D, Koistinen K, Kephapoulos S, Schlitt C, Carrer P, Maroni M, Jantunen M, Cochet C, Kirchner S, Lindvall T, McLaughlin J, Møhlhave L, de Oliveira Fernandes E, Seifert B. *Critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU. INDEX project*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2005. (EUR 21590 EN).
23. WHO. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf; ultima consultazione 8/3/2013.
24. European Communities. SCHER-Scientific Committee on Health and Environmental Risks. Opinion on risk assessment on indoor air quality. 2007. Disponibile all'indirizzo: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_055.pdf; ultima consultazione 31/10/2013.
25. Fuselli S, Pilozzi A, Santarsiero A, Settimo G, Brini S, Lepore A, de Gennaro G, Demarinis Liotile A, Marzocca A, de Martino A, Mabilia R. *Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).

STATO DELL'ARTE DEI PRINCIPALI PROGETTI EUROPEI SULL'INQUINAMENTO *INDOOR*

Rosanna Mabilia, Francesca Spataro, Antonietta Ianniello, Erica Perreca, Fabio Camerini
 Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Monterotondo S. (Roma)

Introduzione

Una buona salute è qualcosa che tutti desiderano, per se stessi, i propri figli e per i benefici più ampi economici e sociali che porta alla nostra società. È evidente che per una crescita a lungo termine e per uno sviluppo sostenibile, i costi della salute non devono essere soggetti ad incrementi ma piuttosto ad una riduzione in termini di cure sanitarie, medicine, assenze per malattia, minore produttività, invalidità e pensionamento anticipato. I cittadini europei sono preoccupati per il potenziale impatto dell'ambiente sulla loro salute e attendono azioni da parte dei responsabili politici (*policy maker*). L'Unione Europea, sulla base dell'*Action Plan*, ha l'obiettivo di evidenziare la relazione tra la mappatura dell'inquinamento e l'effetto sulla salute con lo scopo di gestirlo con maggiore efficienza. Recenti studi sulla relazione tra inquinamento ambientale e salute stimano che in Francia muoiono per effetto dell'inquinamento da 6 mila a 9 mila cittadini per anno e circa un sesto di questa cifra riguarda i bambini. Una particolare attenzione deve essere quindi posta all'esposizione dei bambini alle sostanze tossiche in quanto costituiscono una categoria di individui particolarmente sensibile rispetto agli adulti (1).

La Commissione ha lanciato a giugno del 2003 una strategia per l'ambiente e la salute (*Environment and Health Strategy*) che propone un approccio integrato che implica una più stretta cooperazione tra salute, ambiente e aree di ricerca. Questo renderà più efficiente la valutazione dell'impatto ambientale complessivo sulla salute umana tenendo conto di alcuni effetti quali: l'effetto cocktail, l'esposizione combinata e gli effetti cumulativi. Obiettivo ultimo della strategia è quello di sviluppare un *framework* causa-effetto sull'ambiente e salute in grado di fornire le informazioni necessarie per lo sviluppo di una politica comunitaria (1).

L'impatto sulla salute deve essere considerato come un effetto cumulativo dell'esposizione umana all'ambiente nell'arco della giornata e tenendo conto che la maggior parte dei cittadini europei è concentrata negli ambienti urbani e dove buona parte del tempo si svolge in ambienti confinati, risulta pertanto evidente l'importanza della valutazione dell'impatto dell'inquinamento *indoor* sulla salute dei cittadini. Data la complessità e l'ampiezza di questa problematica, l'Unione Europea ha definito una strategia di lungo termine con un approccio che viene implementato gradualmente per cicli, man mano che si sviluppano le conoscenze di base. Questa strategia è stata approvata dal Parlamento Europeo e dal Comitato Europeo Economico e Sociale che hanno sostenuto la necessità di un *Action Plan* esecutivo su queste tematiche. L'*Action Plan*, partito nel 2004 è stato progettato per fornire all'Unione Europea le informazioni scientifiche necessarie per aiutare tutti i 25 Paesi Membri a ridurre gli impatti negativi sulla salute da parte di alcuni fattori ambientali e di favorire una migliore cooperazione tra le istituzioni scientifiche e i principali soggetti di riferimento in campo ambientale e della salute (1). L'attuazione di questa strategia, dal 2004 in poi si è concretizzata in una serie di programmi di cui si citano i principali di seguito.

Inquinamento *indoor* all'interno dell'Unione Europea

L'interesse della comunità scientifica internazionale verso lo studio della qualità dell'aria negli ambienti confinati (*Indoor Air Quality*, IAQ) è principalmente legato agli effetti sulla salute causati dall'esposizione a sostanze tossiche o potenzialmente dannose. Le principali patologie associate all'inquinamento *indoor* sono: malattie allergiche, asma, disturbi e infezioni respiratori (es. legionellosi), tumore del polmone, malattie cardiovascolari, disturbi irritativi e di alterazione del comfort (es. sindrome dell'edificio malato). Oggi, tutte quelle patologie che hanno chiaramente un quadro eziologico riferibile alle condizioni e ai componenti dell'inquinamento *indoor* sono definite malattie associate agli edifici (*Building Related Illness*) (2, 3).

Considerando che la maggior parte delle attività umane si svolgono in ambienti *indoor* quali uffici, scuole, abitazioni, negozi e automobili, la valutazione dei livelli di inquinamento presenti in questi micro-ambienti costituisce il primo passo per il lavoro epidemiologico, il miglioramento dell'IAQ e la comprensione dell'esposizione della popolazione a sostanze potenzialmente tossiche.

La Commissione Europea, attraverso l'*Environmental and Health Strategy* (2003) e l'*Action Plan* (2004) e, molto più recentemente, attraverso il progetto *Health and Consumer Protection Strategy* (2005) promuove la ricerca per la valutazione dell'impatto sulla salute da parte di fattori ambientali, inclusi i prodotti dei consumatori e supporta fortemente gli sforzi per l'identificazione delle sorgenti *indoor* e la riduzione delle emissioni negli ambienti confinati al fine di migliorare il benessere e la salute umana.

Negli ultimi anni sono stati finanziati diversi programmi di ricerca europei con lo scopo di individuare i principali contaminanti di interesse negli ambienti confinati e comprendere il loro ruolo e la loro distribuzione geografica a livello nazionale.

Principali progetti europei

Di seguito sono riportati i progetti che hanno fornito risultati più significativi a livello europeo.

Il progetto EXPOLIS (*European Exposure Assessment Project*), svolto nel 1996-1998 nell'ambito del 4° Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico, ha permesso di (i) valutare l'esposizione personale di campioni di popolazione urbana europea ai principali inquinanti atmosferici, (ii) determinare i fattori ambientali e personali che influenzano tale esposizione e (iii) creare una banca dati europea per l'analisi e la simulazione di esposizione della popolazione negli scenari attuali e futuri. In particolare, è stata eseguita la misura di monossido di carbonio (CO), particolato fine (PM_{2,5}), biossido di azoto (NO₂) e circa 30 Composti Organici Volatili (COV) in alcuni micro-ambienti (abitazioni private e uffici) ubicati in sette città europee, quali Atene (Grecia), Basilea (Svizzera), Grenoble (Francia), Helsinki (Finlandia), Milano (Italia), Oxford (Regno Unito) e Praga (Repubblica Ceca). Le misure avevano la durata di un anno in modo da valutare anche le variazioni stagionali relative ai livelli di concentrazione (4, 5). In Hänninen *et al.* (6), vengono evidenziate le città nelle quali i livelli di esposizione determinati nel progetto EXPOLIS superavano i valori limite europei e le linee guida della *Environmental Protection Agency* statunitense (US EPA). Atene e Praga presentavano le maggiori criticità sia rispetto agli inquinanti che al tempo di esposizione. I livelli di esposizione sono stati determinati per il PM_{2,5}, NO₂, benzene e CO.

Tali superamenti indicavano che, nel 1996-1998, i livelli di esposizione della popolazione a queste sostanze sono stati considerevoli. Inoltre, è stata evidenziata la necessità di sviluppare sia nuove strategie di controllo sia linee guida e valori limite al fine di garantire la sicurezza e la salubrità degli ambienti confinati nelle aree urbane (7).

Il progetto INDEX (*Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU*) (2002-2005) è stato finanziato dal *Directorate General of Health and Consumer Protection* e coordinato dalla Commissione Europea del *Joint Research Centre (JRC)* in collaborazione con i maggiori esperti nell'ambito dell'inquinamento *indoor*.

Le attività del progetto sono state suddivise in diverse fasi, schematizzate in Figura 1.

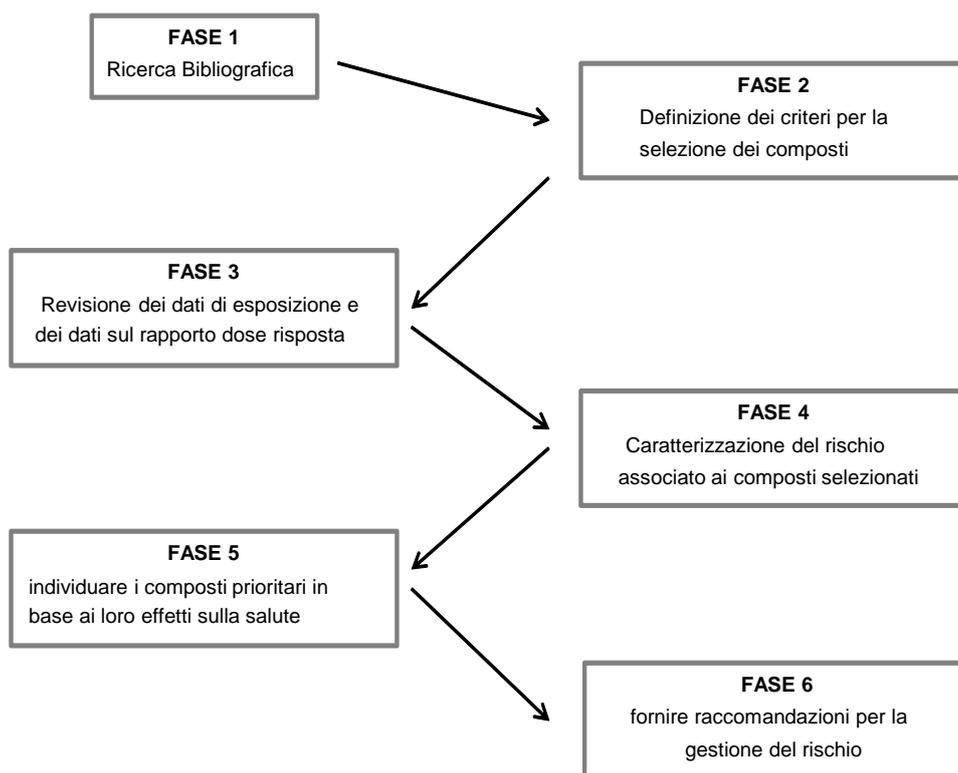


Figura 1. Fasi del progetto INDEX

L'obiettivo di INDEX è stato quello di individuare alcuni inquinanti di interesse prioritario in base al loro impatto sulla salute, fornire raccomandazioni utili alla gestione del rischio associato a questi inquinanti e definire una strategia comune di intervento (7, 8). Tali risultati sono stati ottenuti combinando i valori di concentrazione e i livelli di esposizione personale misurati con la quantità di tempo che gli individui trascorrono negli ambienti considerati (7, 8). Nella Tabella 1 sono riportate alcune tipiche concentrazioni micro-ambientali e di esposizione personale, determinate in studi precedenti effettuati in Europa e rielaborate nell'ambito del progetto INDEX. I risultati indicano chiaramente che le concentrazioni *indoor* di questi composti sono significativamente più alte rispetto ai corrispondenti valori *outdoor*, mentre le concentrazioni di esposizione personali sono molto più alte di entrambi. Tali risultati hanno permesso di dividere i composti considerati in due categorie sulla base del rischio per la salute in Europa: inquinanti ad alta priorità e inquinanti a bassa priorità.

Tabella 1. Concentrazioni *indoor* e *outdoor* e livelli di esposizione personale determinati durante il progetto INDEX

Composto	<i>Outdoor</i>	<i>Indoor</i>	Esposizione personale
Organici			
Aromatici			
Benzene	1-21	2-13	3-23
Naftalene	1-4	1-90	2-46
Stirene	1-2	1-6	1-5
Toluene	3-43	15-74	25-130
m,p-Xileni	2-23	4-37	25-55
o-Xilene	1-8	2-12	8-15
Aldeidi			
Acetaldeide	1-2	10-18	8
Formaldeide	2-4	7-79	21-31
Terpeni			
a-Pinene	1-7	11-23	7-18
Limonene	5-9	6-83	19-56
Inorganici			
Monossido di carbonio	2	0,5-1	0,8-1,7

Le concentrazioni e i livelli di esposizione sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tranne per il CO che invece sono espresse in mg/m^3 .

Gli inquinanti ad alta priorità erano: formaldeide (HCHO), CO, NO₂, benzene e naftalene; mentre quelli con bassa priorità erano: acetaldeide, toluene, xileni e stirene. Per questi composti sono stati suggeriti i limiti di esposizione, le raccomandazioni e le misure di controllo per minimizzare i rischi per la salute (7, 8). Ad esempio, la formaldeide è stata indicata come sostanza chimica con rischio elevato se presente in concentrazioni $> 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Inoltre, sono stati evidenziati alcuni composti per i quali sono necessari nuovi studi finalizzati alla determinazione dei livelli di esposizione umana e del parametro dose-risposta: ammoniaca, limonene ed α -pinene (8).

Il progetto europeo AIRMEX (*Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Study*), svolto negli anni 2003-2008, era finalizzato ad identificare e quantificare i principali contaminanti dell'aria presenti in abitazioni private ed edifici pubblici in Europa, quali scuole e asili, e valutare i livelli di esposizione personale a 14 COV (idrocarburi, composti aromatici, alcoli e carbonili) durante le ore lavorative e il tempo di permanenza degli inquinanti nel micro-ambiente. In questo studio sono stati considerati ambienti quali scuole e asili (9, 10). Tale progetto ha interessato 12 città europee e la relativa banca dati sviluppata si basa su 1000 campioni provenienti da 182 ambienti di lavoro (uffici, classi e sale d'attesa) e luoghi pubblici quali scuole e asili, 103 abitazioni private e 148 campionatori per la valutazione dell'esposizione personale. I risultati hanno permesso di individuare gli inquinanti che presentano concentrazioni maggiori per l'*indoor* rispetto l'*outdoor* a causa della presenza di sorgenti interne. Questo studio propone inoltre dei criteri per l'individuazione degli inquinanti *indoor* su cui focalizzare l'attenzione negli studi futuri. Inoltre evidenzia la possibile influenza di reazioni chimiche e fotochimiche sulle concentrazioni delle sostanze reattive in atmosfere *indoor*. Sono riportati per tutti i composti considerati nel corso del progetto AIRMEX i valori medi del rapporto tra le concentrazioni *indoor* e *outdoor* (I/O). Un valore del rapporto I/O > 6 è associato ad inquinanti prevalentemente di origine *indoor*. La formaldeide è stata recentemente identificata come sostanza cancerogena per l'uomo e il suo valore I/O circa 6 sottolinea la necessità di minimizzare le emissioni da prodotti per l'edilizia, la pulizia, e le finiture negli ambienti confinati. Altri composti che destano preoccupazione sono il 2-butossietanolo e il

limonene, due allergeni per contatto con la cute. Il 2-butossietanolo è utilizzato come solvente in spray, smalti, vernici, pitture e lattice, mentre il limonene è presente nei prodotti per la pulizia. Inoltre, il limonene può reagire con l'ozono, formando particolato ultrafine secondario, a sua volta associato ad irritazione sensoriale in ambienti d'ufficio.

In Tabella 2 sono riportati i valori massimi riscontrati per alcune di queste sostanze da cui si evincono chiaramente le concentrazioni *indoor* molto elevate (10).

Tabella 2. Valori massimi delle concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *indoor* e *outdoor* e dei livelli di esposizione personale per alcuni inquinanti determinati nel progetto AIRMEX

Inquinante	<i>Outdoor</i>	Edifici pubblici/scuole	Abitazioni private	Esposizione personale
Esanale	3,3	159,6	198,6	68
D-limonene	2,4	175,7	492,9	276,9
Formaldeide	7,3	49,7	57,2	29,9
Acetaldeide	5,1	29,1	41,3	29,1
Propanale	1,9	26,0	12,7	28,0

L'analisi statistica dei dati ottenuti ha fornito una buona indicazione dell'influenza della chimica dell'aria *indoor* sui livelli di concentrazione delle sostanze reattive, indicazione che può essere presa in considerazione come guida per le future possibili regolamentazioni. È stato evidenziato che, durante le campagne di monitoraggio dell'aria *indoor*, una particolare attenzione deve essere rivolta agli inquinanti con un rapporto *indoor/outdoor* maggiore di 2. Nel corso del progetto è stata riscontrata un'evidente differenza di concentrazioni di composti aromatici tra i siti localizzati al Nord e al Sud Europa. Questa differenza può essere attribuita alle differenti tipologie del tipo di veicoli presenti nelle città investigate. Per i terpeni non sono state riscontrate variazioni su base geografica ma piuttosto variazioni significative sul ciclo stagionale. Nei periodi caldi la concentrazione più alta è dovuta essenzialmente all'effetto della ventilazione dei locali. La reazione dell'ozono con i terpeni è di conseguenza più abbondante nei periodi caldi e le più alte concentrazioni di aldeidi in questi periodi, confermano questa ipotesi (10).

Nonostante questi studi abbiano portato a molti risultati contribuendo allo sviluppo dell'attuale legislazione riguardo le tematiche IAQ, ad oggi i lavoratori lamentano la mancanza di benessere e comfort e non è ancora possibile definire se tali denunce siano attribuibili ad una mancanza della salubrità dell'aria.

Un ulteriore sviluppo e integrazione dei risultati ottenuti dai progetti europei precedentemente descritti, è previsto nel recente progetto europeo finanziato dall'Unione europea nell'ambito del 7° Programma Quadro, OFFICAIR (*On the reduction of health effects from combined exposure to indoor pollutants in Modern Offices*) iniziato nel 2010 e tutt'ora in corso. In tale progetto l'Italia contribuisce con la partecipazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Università di Milano. Tale progetto mira a fornire nuove conoscenze per migliorare lo stato di comfort dei lavoratori e a perfezionare la relazione di univocità tra malessere e cattiva qualità dell'aria negli uffici moderni, nei quali si riversano gli effetti delle più recenti iniziative per il miglioramento dell'IAQ e delle normative sul risparmio energetico e sulla ventilazione.

Le difficoltà di avviare politiche solide di IAQ (in particolare negli uffici) riguardo alla ventilazione, all'energia e alla salute, sono principalmente legate alla mancanza di informazioni riguardanti la tossicità di un certo numero di sostanze che inquinano l'aria degli ambienti confinati. In tale ambito, il progetto OFFICAIR si propone di fornire nuove conoscenze in termini di banche dati, modelli e metodi di valutazione del rischio per la salute associato

all'inquinamento negli ambienti *indoor* (in particolare negli edifici per uffici moderni) e sostenere le politiche dell'Unione Europea, come la tematica strategica sull'inquinamento atmosferico e l'ambiente europeo (*Thematic Strategy on Air Pollution and the European Environment*), la strategia sulla salute (*Health Strategy*) e il piano d'azione (*Action Plan*).

Attività sperimentale di OFFICAIR

Le attività del progetto OFFICAIR si sviluppano in tre dimensioni: attività sperimentali in campo, esperimenti di laboratorio e l'integrazione dei dati per la costruzione di modelli dinamici sull'IAQ.

Le attività di campo saranno eseguite in diverse regioni europee (Paesi Bassi, Francia, Ungheria, Italia, Grecia, Spagna, Portogallo e Finlandia) che siano rappresentative della diversità morfologica e climatica. Questa fase del progetto prevede la selezione di edifici moderni adibiti ad uffici in cui effettuare le misure. I principali criteri adottati per la selezione degli edifici sono: età dell'edificio non superiore a 5 anni, predilezione per gli open space, accesso alla rete internet, utilizzo di sistemi HVAC, utilizzo di sistemi di ventilazione naturale e ibrida, percentuale di vetro in facciata, posizione vicina ad autostrade o stazioni, presenza di un sistema di illuminazione generale rispetto all'illuminazione locale della scrivania ed efficienza energetica (sostenibilità).

Le attività di campionamento, che saranno effettuate in ambienti *indoor* e *outdoor* sia durante la stagione estiva sia durante quella invernale, si avvarranno di sistemi attivi e passivi per la determinazione delle concentrazioni in aria di COV, aldeidi, O₃, NO₂ e PM_{2,5}. Saranno inoltre determinati alcuni parametri fisici quali temperatura, umidità relativa e velocità ventilazione.

Per gli stessi edifici sono stati realizzati una lista di controllo per caratterizzare le possibili sorgenti di inquinanti e le misure applicate nell'edificio, e un questionario online riguardante gli aspetti organizzativi (es. la funzione, l'orario di lavoro e gli anni di impiego) e ambientali (qualità dell'ambiente) (es. l'aria, la temperatura, la luce e il rumore), nonché le caratteristiche degli uffici (es. l'uso degli arredi, le attrezzature e le preferenze dei luoghi in costruzione).

Tali attività di campo permetteranno di ottenere informazioni relative alle cause che possono compromettere la qualità dell'aria interna e di individuare nuovi inquinanti primari prodotti dall'introduzione dei nuovi materiali e di nuove abitudini nei moderni uffici e anche inquinati secondari come ad esempio specie dell'ossigeno totalmente reattive (ROS), note per le loro proprietà di irritanti sensoriali.

Tutte queste informazioni saranno utili alla costruzione di un sistema integrato di modellazione, che collegherà le emissioni dei principali inquinanti (O₃, COV e PM_{2,5}) con i principali inquinanti secondari, secondo modelli di bilancio di massa. Questi modelli dell'IAQ serviranno per la comprensione e individuazione degli eventi chimici che portano alla formazione di prodotti pericolosi per la salute del lavoratore e delle condizioni che ne predispongono il verificarsi (sorgenti, condizioni fisiche e attività di ventilazione).

In questo modo si vuole fornire uno strumento applicabile su tutto il territorio europeo che sia in grado di prevedere i rischi e indirizzare la politica verso una progettazione e un uso di questi ambienti più sicuro per la salute.

Una parte consistente del progetto OFFICAIR riguarderà studi tossicologici che in particolare verteranno sulla valutazione degli effetti sulla salute dell'eventuale sinergia tra diversi inquinanti. Saranno indagati gli inquinanti selezionati durante le attività di campionamento nei diversi edifici per uffici moderni in Europa e sarà studiata l'insorgenza di malattie cardiovascolari inseguito all'esposizione ai SOA (*Secondary Organic Aerosol*) generati in *indoor*.

Si valuteranno anche gli effetti di una strategia di intervento sull'IAQ (es. il miglioramento della ventilazione, la filtrazione/riduzione degli inquinanti), e infine, dato il crescente interesse, si valuteranno gli effetti della interazione tra stato psicosociale dei lavoratori e qualità dell'aria interna.

Come accennato in precedenza, la raccolta di dati proveniente da ciascuna fase servirà per la costruzione della banca dati che OFFICAIR integrerà anche con i dati del progetto BUMA (*Building materials prioritisation as indoor pollution sources*) (riguardanti le emissioni dai materiali, e del progetto EPHact per quel che concerne i dati di emissione di prodotti di consumi.

Risultati preliminari

Nell'ambito del progetto OFFICAIR, alcuni risultati preliminari sono stati ottenuti, da Wolkoff *et al.* (11), mediante l'applicazione di modelli per valutare gli effetti sulle vie aeree (di cavie da laboratorio) causate da ripetute esposizioni a miscele dei prodotti di ossidazione del limonene (*Limonene Oxidation Products*, LOP) da parte di O₃. Lo scopo di questo studio era di valutare se le esposizioni ripetute di LOP aumentavano (sensibilizzazione), diminuivano (desensibilizzazione) o lasciavano invariato il parametro esposizione-effetto.

In particolare, alcune cavie di laboratorio sono state sottoposte per 10 giorni ad esposizioni orarie giornaliere di miscele di LOP generate miscelando 52 ppm di limonene con 0.5-3.9 ppm di ozono.

I risultati di questo studio hanno evidenziato che esposizioni della durata di un'ora per 10 giorni a tali miscele causavano irritazione sensoriale, senza una progressione evidente nel periodo di esposizione. Tali risultati suggeriscono che l'irritazione sensoriale, causata da miscele complesse dell'aria *indoor*, può essere prevista mediante studi di esposizione acuta.

Inoltre, un effetto esposizione-dipendente sembra verificarsi per concentrazioni a cui è associata l'irritazione sensoriale.

In questo studio preliminare, non essendo stato possibile trarre conclusioni per quanto riguarda la comparsa di effetti a livello alveolare, sarà necessario proseguire le indagini mediante ulteriori esperimenti di inalizzati a tal senso.

Bibliografia

1. Commissione delle comunità europee. *Il piano d'azione europeo per l'ambiente e la salute 2004-2010. Volume I*. Bruxelles: Commissione delle comunità europee; 2004. Disponibile all'indirizzo: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2004:0416:FIN:IT:PDF>; ultima consultazione 12/02/2014
2. Lepore A, Ubaldi V, Brini S. *Inquinamento indoor: aspetti generali e casi studio in Italia*. Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale; 2010. (Rapporti ISPRA 117/2010).
3. Hodgson M. Indoor environmental exposure and symptoms. *Environmental Health Perspect* 2002;110:663-7.
4. Edwards RD, Jurvelin J, Saarela K, Jantunen MJ. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 2001;35: 4531-43.
5. Edwards RD, Jurvelin J, Saarela K, Jantunen MJ. VOC source identification from personal and residential *indoor, outdoor* and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 2001;35:4829-41.
6. Hänninen O, Alm S, Katsouyanni K, Künzli N, Maroni M, Nieuwenhuijsen M. J, Saarela K, Sràm R.J, Zmirou D, Jantunen MJ. The EXPOLIS study: implications for exposure research and

- environmental policy in Europe. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 2004;14:440–456.
7. Kotzias D, Koistinen K, Cochet C, Kephelopoulos S, Kirchner S, Jantunen M, Lindvall T, Maroni M, McLaughlin JP, Møhlhave L, de Oliveira Fernandes E, Seifert B. Final Report of the INDEX project. *Critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU*. Ispra (VA): European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Physical and Chemical Exposure Unit; 2005.
 8. Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos S, Schlitt C, Carrer P, Jantunen M, Kirchner S, McLaughlin J, Møhlhave L, Fernandes EO, Seifert B. The INDEX project: executive summary of European Union project on indoor air pollution. *Allergy* 2008;63:810-19.
 9. Kotzias D, Geiss O, Tirendi S, Barrero-Moreno J, Reina V, Gotti A, Cimino-Reale B, Marafante E, Sarigiannis D. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens the European indoor air monitoring and exposure assessment (AIRMEX) study. *Fresenius Environmental Bulletin* 2009;18(6):1-12.
 10. Geiss O, Giannopoulos G, Tirendi S, Barrero-Moreno J, Larsen BR, Kotzias D. The AIRMEX study - VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. *Atmospheric Environment* 2011;45:3676-84.
 11. Wolkoff P, Clausen PA, Larsen S. T, Hammer M, Nielsen GD. Airway effects of repeated exposures to ozone-initiated limonene oxidation products as model of indoor air mixtures. *Toxicology Letters* 2011;209:166-72.

METODOLOGIE PER LA DEFINIZIONE DEI CONTRIBUTI DELLE DIFFERENTI SORGENTI IN AMBIENTI *INDOOR*: LE ESPERIENZE E I CASI STUDIO

Gianluigi de Gennaro, Annamaria Demarinis Loiotile, Annalisa Marzocca, Maria Tutino
Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Bari, Bari

Strategie per il monitoraggio

Gli ambienti *indoor* presentano una maggiore complessità rispetto a quelli *outdoor* in relazione alla varietà delle potenziali sorgenti di emissione e alle attività che in essi si svolgono; l'esposizione *indoor* può essere più significativa rispetto a quella *outdoor* a causa del tempo che si trascorre in questi ambienti e per la varietà di prodotti e materiali che possono essere introdotti, i cui potenziali impatti sulla salute sono ancora poco noti. Vista la complessità della problematica, al fine di condurre un monitoraggio in ambienti *indoor* è necessario definire gli obiettivi della misura, avere nozione delle peculiarità degli ambienti oggetto di studio e delle caratteristiche emissive delle sorgenti in essi presenti. È inoltre necessario considerare che gli occupanti degli ambienti indagati possono essere esposti non ad un singolo composto, ma ad una miscela di sostanze inquinanti con una loro variabilità spazio-temporale.

Le indagini possono essere condotte per differenti ragioni: a partire da reclami da parte degli occupanti (es. derivanti dalla percezione di odori sgradevoli o dal verificarsi di malesseri come mal di testa, nausea, irritazioni alle vie respiratorie), al fine di determinare l'esposizione personale e per individuare le principali sorgenti emissive. In particolare, possono essere valutati gli effetti acuti sulla salute della popolazione esposta mediante la determinazione del valore massimo di concentrazione su un breve periodo o gli effetti cronici mediante monitoraggio su lunghi periodi (concentrazione media). A volte risulta utile una preliminare valutazione della qualità dell'aria *indoor* per individuare, tramite indagini di screening, eventuali aree critiche o possibili sorgenti, o per verifica del rispetto di valori guida, seguendo procedure di riferimento, o per l'efficacia di un rimedio adottato. L'attività di monitoraggio può essere supportata dalle informazioni ottenute da questionari somministrati agli occupanti al fine di approfondire le cause e la definizione temporale dei fenomeni di inquinamento indagati (1)

Tra le classi di inquinanti *indoor* particolare attenzione meritano i Composti Organici Volatili (COV) e le polveri aerodisperse (*Particulate Matter*, PM).

Il DL.vo 161/2006 definisce come COV "qualsiasi composto organico avente un punto di ebollizione iniziale pari o inferiore a 250°C misurato ad una pressione standard di 101,3 kPa" (2). L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) propone una classificazione dei COV in 4 gruppi (molto volatili, volatili, semivolatili, associati al materiale particellare) in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra 50-100°C e un limite superiore fra 240-260°C. A questa classe di composti appartengono specie di cui è stata accertata la pericolosità per la salute umana, tra queste il benzene (3, 4) e la formaldeide (5, 6) classificati dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (*International Agency For Research On Cancer*, IARC) in classe 1 come cancerogeni certi. Molte sostanze di sintesi introdotte sul mercato negli ultimi 50 anni appartengono alla classe dei COV: per la maggior parte di queste non vi sono informazioni sufficienti per determinare la loro pericolosità sull'uomo e ambiente (7, 8).

Anche le polveri aerodisperse (PM) rappresentano una matrice particolarmente complessa. La frazione più fine (diametro aerodinamico $< 2,5 \mu\text{m}$) può essere costituita da una complessa miscela di composti di differente tossicità per l'uomo già individualmente considerati, come gli idrocarburi policiclici aromatici, IPA e i metalli pesanti. La tossicità delle polveri è legata sia alle dimensioni delle particelle che alle caratteristiche chimiche delle stesse (9, 11).

Per pianificare l'attività di monitoraggio e individuare le opportune tecniche di campionamento e analisi occorre definire la classe e il numero di composti nonché la risoluzione temporale di interesse (concentrazione istantanea, concentrazione media oraria, giornaliera, settimanale, mensile). Inoltre è necessario considerare l'ingombro e rumorosità della strumentazione, le dimensioni degli ambienti indagati, la distribuzione e presenza degli occupanti dei locali in esame e le performance strumentali richieste (sensibilità, accuratezza e precisione) in relazione agli obiettivi temporali stabiliti (1, 12).

Metodologie di monitoraggio

La determinazione dei principali inquinanti *indoor* può essere effettuata in modalità offline, che prevede il campionamento e la successiva analisi in laboratorio dei campioni raccolti, o in modalità online se le determinazioni sono effettuate in situ tramite sistemi a misura diretta. Inoltre, in relazione alla durata dei campionamenti, il monitoraggio si definisce a breve termine (da pochi secondi a qualche ora) o a lungo termine (periodi generalmente superiori alle 8 ore).

Monitoraggio offline di COV

Le metodologie offline utilizzate per determinare i COV in aria *indoor* si possono suddividere in due tipologie: campionamento attivo e campionamento passivo. Il campionamento attivo prevede l'aspirazione attraverso tubi adsorbenti di volumi misurati di aria campione con l'ausilio di pompe a basso volume; esso è utilizzato generalmente per condurre monitoraggi a breve termine (13). Il campionamento passivo è effettuato mediante campionatori diffusivi ed è utilizzato generalmente per condurre monitoraggi a lungo termine. Il campionamento attivo di COV risulta appropriato per la determinazione di una ampia gamma di composti, compresi idrocarburi, idrocarburi alogenati, eteri, eteri glicolici, chetoni e alcoli, le cui concentrazioni siano comprese in un intervallo di concentrazione di singolo composto da circa $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $100 \text{mg}/\text{m}^3$ (13).

La necessità di effettuare un monitoraggio di COV su lunghi periodi o di effettuare un'indagine ad elevata risoluzione spaziale richiede l'utilizzo di campionatori diffusivi di piccole dimensioni, che non richiedono alimentazione elettrica. Sotto un gradiente di concentrazione, le molecole gassose attraversano il corpo diffusivo in cui è inserita la cartuccia adsorbente diffondendone all'interno. Il campionamento passivo risulta appropriato per la misurazione di COV aerodispersi in un intervallo di concentrazione di singolo composto da circa $0,002 \text{mg}/\text{m}^3$ a $100 \text{mg}/\text{m}^3$ per un tempo di esposizione di 8 ore, oppure da $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per un tempo di esposizione di quattro settimane (14).

Per il campionamento di questi composti può essere utilizzata una vasta gamma di adsorbenti, ognuno dei quali con diversa applicabilità e prestazioni (13). I tubi campionati sono trasportati in laboratorio dove sono desorbiti termicamente o chimicamente (mediante solvente) e gli analiti successivamente analizzati mediante gascromatografia (15-18). Tali tecniche di campionamento possono essere utilizzate anche nel caso in cui si vogliano valutare i livelli medi di esposizione personale della popolazione direttamente esposta (19, 20).

Il monitoraggio offline di COV può essere inoltre effettuato campionando l'aria *indoor* in canister, contenitori in acciaio inox posti sottovuoto a pressioni inferiori a 0,1 Torr prima del campionamento (volume variabile da 400 mL a 30 L), e analizzando la stessa in laboratorio mediante gascromatografia (21). Il campionamento può essere istantaneo o mediato in funzione degli obiettivi dello studio. Questa metodica di campionamento dell'aria è applicabile a specifici COV che sono stati testati ed è stato determinato essere stabili se conservati in canisters pressurizzati a pressione sub-atmosferica.

Monitoraggio online di COV

È possibile utilizzare le metodiche online di monitoraggio dei COV per studi differenti: nel caso in cui si voglia effettuare uno studio preliminare della qualità dell'aria *indoor*, nel caso in cui si voglia individuare un particolare evento o sorgente, nel caso in cui si voglia effettuare una speciazione dei composti rilevati utilizzando una strumentazione più complessa.

Se si è interessati ad un'analisi di screening del livello di inquinamento negli ambienti *indoor* o nel caso in cui si voglia effettuare una determinazione ad elevata risoluzione temporale di un particolare evento o sorgente, è possibile utilizzare strumenti a misura diretta come analizzatori a fotoionizzazione (*PhotoIonization Detector*, PID) o a ionizzazione di fiamma (*Flame Ionization Detector*, FID) che determinano in tempo reale un segnale proporzionale alla somma delle concentrazioni dei COV rilevati.

L'analizzatore PID utilizza la luce ultravioletta come sorgente di energia per rimuovere un elettrone dalle molecole neutre di COV formando così ioni, che raccolti in un campo elettrico, producono una corrente ionica proporzionale alla concentrazione rivelata. Il PID permette di monitorare un numero elevato di COV senza effettuarne una differenziazione, ma misurando i livelli di concentrazione delle molecole aventi potenziale di ionizzazione minore o uguale di 10.6 eV, fornendo la risposta in termini di concentrazione di COV totali (o TVOC, *Total Volatile Organic Compounds*) espressi come ppm del gas di calibrazione.

Nel FID i COV sono pirolizzati in una fiamma aria/idrogeno producendo ioni ed elettroni. Le cariche elettriche formate durante la combustione dei COV contenuti nell'aria *indoor* sono prelevate mediante una coppia di elettrodi polarizzati e trasformate quindi in correnti elettriche. Le correnti di ionizzazione per mezzo di un circuito elettrometrico sono trasformate in tensioni di uscita proporzionali alla corrente nella fiamma. L'analizzatore FID ha una buona sensibilità per i composti idrocarburici, ma può presentare problemi se il campione contiene anche O₂ in grado di ossidare tali composti inibendone la ionizzazione. Lo strumento, così come il PID, non permette di differenziare tra i diversi COV in quanto fornisce un segnale in uscita direttamente proporzionale alla concentrazione di COV totali espressi come ppm del gas di calibrazione.

Se si vogliono avere informazioni circa la composizione chimica della concentrazione totale rilevata con tale strumentazione è necessario utilizzare apparecchiature più complesse che comprendano anche un sistema per la separazione dei singoli composti.

L'identificazione e quantificazione dei singoli composti può essere effettuata mediante un micro-gascromatografo portatile che campiona e analizza in situ l'aria ambiente con elevata risoluzione temporale (tempo di analisi circa 60 s) utilizzando colonne e procedure analitiche dedicate in relazione alla classe di composti indagati.

Monitoraggio offline del PM

Il monitoraggio offline del PM viene effettuato mediante aspirazione in modo continuo con flusso di campionamento costante e conseguente raccolta del particolato su filtri a membrana a

cui segue la pesatura in condizioni controllate di temperatura e umidità, in rapporto al volume di gas aspirato (metodo gravimetrico).

È possibile campionare diverse frazioni del particolato – PM_{10} (22), $PM_{2,5}$ (23), PM_1 – mediante impattori inerziali a singolo stadio o multistadio (24-26). Nell'impattore a stadio singolo le particelle sospese vengono accelerate facendole passare attraverso una o più strozzature (ugelli), generalmente circolari o rettangolari, prima di incontrare un ostacolo (costituito dallo stadio di impatto). Per poter seguire le linee di flusso dell'aria in prossimità dello stadio d'impatto le particelle sono forzate a compiere una traiettoria ad angolo: le particelle più grandi non riescono a compiere il cambio di direzione, a causa della loro maggiore inerzia, e impattano sullo stadio (venendo così rimosse dal flusso d'aria principale) mentre le particelle più piccole riescono a seguire le linee di flusso, oltrepassando l'ostacolo e andando a depositarsi sul supporto (filtro) posto al di là dell'ostacolo. Nell'impattore multistadio, le particelle vengono caricate tramite una scarica a corona, separate in base alle dimensioni mediante un impattore a cascata a bassa pressione e rilevate elettricamente mediante elettrometri sensibili.

È possibile utilizzare anche impattori sequenziali che permettono di raccogliere le diverse frazioni del particolato, grazie a sonde dotate di teste di campionamento specifiche in grado di rilevare le particelle con granulometria differente.

Tali strumenti devono essere dotati di particolare silenziosità, in modo che si possa operare in ambiente *indoor* senza disturbare il normale svolgimento delle attività.

Il particolato raccolto può essere caratterizzato in laboratorio al fine di determinare le concentrazioni delle diverse componenti chimiche, quali frazione ionica, carbonio organico ed elementare, metalli e idrocarburi policiclici aromatici.

Monitoraggio online del PM

Il monitoraggio in continuo del particolato atmosferico può essere condotto utilizzando contatori ottici di particelle, il cui funzionamento si basa sul principio del *light scattering* (27). Sono strumenti di misura in tempo reale che permettono la caratterizzazione della distribuzione granulometrica del materiale particellare aerodisperso con diametro ottico maggiore di $0,3 \mu\text{m}$. Sono anche disponibili strumenti in grado di determinare in tempo reale le frazioni più fini (diametro $< 0,5 \mu\text{m}$). Si tratta di spettrometri che effettuano una classificazione particellare dell'aerosol analizzato permettendo anche lo studio dei modi di nucleazione e accumulazione delle particelle nanometriche (28).

Sono inoltre disponibili sul mercato strumenti in continuo in grado di determinare alcune componenti chimiche del PM (analizzatore di *black carbon*, analizzatore termo-ottico per carbonio elementare e carbonio organico (29), analizzatore per idrocarburi policiclici aromatici totali).

Casi studio

Monitoraggio di COV nelle scuole

Un obiettivo sensibile per la problematica dell'inquinamento *indoor* è rappresentato dalle scuole in relazione alla suscettibilità di bambini e ragazzi che trascorrono tra le mura scolastiche buona parte del proprio tempo.

La pianificazione delle campagne di monitoraggio richiede innanzitutto lo studio dei diversi ambienti che caratterizzano l'istituto scolastico indagato: aule, uffici, laboratori, biblioteche, palestre, servizi igienici, auditorium, mense. Ciascuno di questi può presentare sorgenti e inquinanti specifici oltre ad un microclima caratteristico.

Potenziali sorgenti dei COV in tali ambienti possono essere: il sistema di riscaldamento, la pulizia dei locali con detergenti, i materiali per l'edilizia, la disinfezione e la disinfestazione, l'uso di pitture e solventi (31, 32) oltre alla stessa presenza degli occupanti che fanno uso di prodotti per l'igiene personale, profumi, deodoranti e lacche per capelli (33). A queste si aggiungono potenziali emissioni dei materiali didattici quali pennarelli, pitture, colle, prodotti di gomma (34).

Il campionamento di questi ambienti viene generalmente eseguito utilizzando dei campionatori passivi al fine di ottenere informazioni sulle concentrazioni medie dei COV; tali campionamenti si possono eseguire secondo due modalità, o esponendo continuamente i campionatori per il periodo su cui si intende misurare le concentrazioni medie o effettuando dei campionamenti frazionati, per studiare l'esposizione in periodi definiti della giornata, esponendo il campionario alla presenza degli occupanti. Al campionamento dell'aria *indoor* è associato uno *outdoor* nelle immediate vicinanze del sito, possibilmente allo stesso piano in cui si trova l'aula oggetto del monitoraggio e durante lo stesso periodo, necessario per identificare e stimare il contributo delle sorgenti *outdoor*. Tali apporti possono essere valutati considerando per ciascun inquinante indagato il rapporto tra la concentrazione *indoor* e quella *outdoor* (I/O).

Nello studio in oggetto è stata effettuata una campagna di monitoraggio in 5 istituti scolastici nella città di Bari e sono stati indagati, per ciascuno, 3 ambienti *indoor* e il corrispondente *outdoor* esponendo i campionatori continuamente per una settimana. Sono stati utilizzati campionatori passivi a simmetria radiale Radiello® per desorbimento termico (15). L'analisi dei COV è stata condotta utilizzando un desorbitore termico (Markers mod. UNITY) accoppiato a un gas cromatografo GC-6890 PLUS con rivelatore di massa (Agilent GCMS-5973 N) (35-36).

Lo studio ha previsto la distribuzione di questionari dai quali sono state raccolte informazioni sulle attività svolte, frequenza giornaliera degli alunni e caratteristiche dimensionali degli ambienti.

Nella Tabella 1 sono riportati i valori medi delle concentrazioni di benzene, toluene, etilbenzene e xileni misurate negli ambienti indagati, i valori di concentrazione *outdoor* e i rapporti I/O.

Tabella 1. Concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dei tre ambienti *indoor* (I), *outdoor* (O) e rapporti I/O

Inquinante	SCUOLA 1			SCUOLA 2			SCUOLA 3			SCUOLA 4			SCUOLA 5		
	I	O	I/O												
Benzene	0,8	0,5	1,5	1,8	1,9	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,3	3,1	3,1	1,9	1,6
Toluene	2,6	1,1	2,2	4,2	6,0	0,7	1,0	0,6	1,6	1,4	0,3	4,6	10,0	6,0	1,7
Etilbenzene	0,5	0,2	1,3	1,0	1,2	0,8	0,3	0,2	1,9	0,4	0,1	5,6	1,9	1,2	1,6
Xileni	1,3	0,7	1,8	1,8	2,0	0,9	0,9	0,4	2,2	1,3	0,2	6,5	3,2	2,0	1,6

I risultati mostrano che nella maggior parte degli ambienti monitorati i rapporti I/O sono > 1 , evidenziando la consistenza delle sorgenti *indoor*. Nella scuola 4 sono stati rilevati i valori più alti del rapporto I/O (è importante riferire questo risultato ai bassi livelli di concentrazioni *outdoor*).

Nelle scuole 2 e 5, situate in un'area caratterizzata da intenso traffico, vi è un contributo significativo della sorgente *outdoor* che incide in maniera differente sulla qualità dell'aria *indoor* delle due scuole: l'edificio 5 infatti mostra ulteriori contributi significativi dovuti a sorgenti interne. In questi casi sono opportuni approfondimenti diagnostici al fine di identificare le possibili sorgenti, utilizzando strumenti ad alta risoluzione temporale per individuare con certezza i momenti in cui tali emissioni si verificano o conducendo indagini sui materiali sospetti attraverso l'esposizione in camera controllata (37-38).

Monitoraggio di COV in supermercati

I supermercati risultano essere gli ambienti a più elevata affluenza, con una grande varietà di prodotti e organizzati in reparti, all'interno dei quali si svolgono attività differenti. Al fine di determinare la qualità dell'aria in un supermercato, nonché individuare le principali zone critiche e quindi le sorgenti di emissione, è stato condotto un monitoraggio di screening ad elevata risoluzione spaziale di COV. L'intero supermercato è stato suddiviso in 44 aree omogenee, in ciascuna delle quali è stato individuato un sito di campionamento.

La campagna di monitoraggio è stata condotta in una settimana con turno di apertura domenicale eseguendo 3 campionamenti bigiornalieri con campionatori passivi a simmetria radiale Radiello® per desorbimento termico (30, 31). L'analisi dei COV è stata condotta utilizzando un desorbitore termico (Markers mod. UNITY) accoppiato a un gas cromatografo GC-6890 PLUS con rivelatore di massa (Agilent GCMS-5973 N) (32, 33). Parallelamente sono stati somministrati dei questionari agli operatori per recuperare informazioni sulle attività svolte nel supermercato e i corrispettivi tempi.

Sono stati identificati 60 composti. La Figura 1 mostra (come esempio) gli andamenti delle concentrazioni di limonene, uno degli inquinanti quantificati, relativi al primo, secondo e terzo periodo di campionamento bi giornaliero effettuato nelle 44 aree omogenee del supermercato.

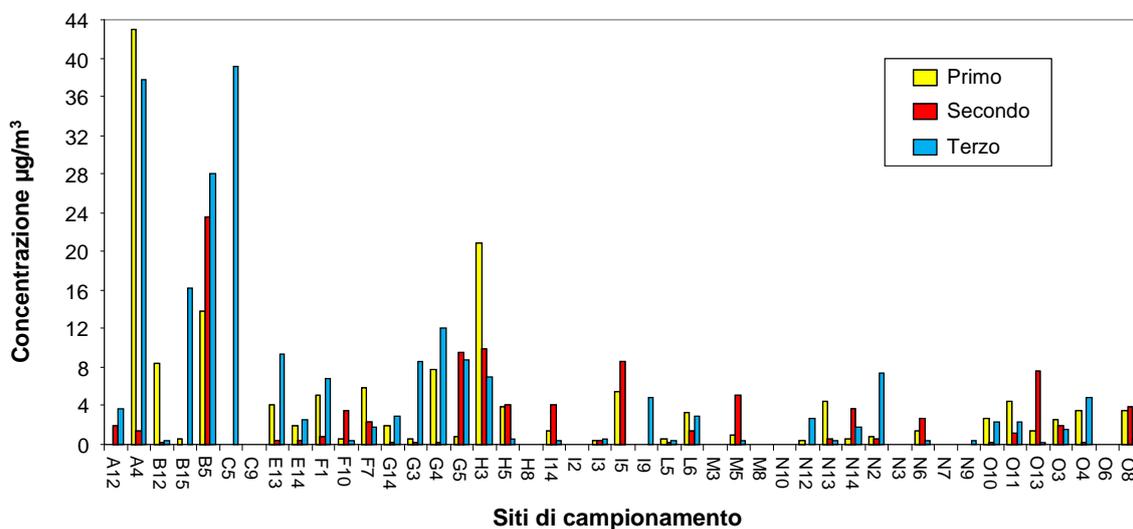


Figura1. LIMONENE: concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nei tre campioni bigiornalieri relative alle 44 aree omogenee del supermercato

In particolare si fa notare che durante i 3 campionamenti bigiornalieri eseguiti le maggiori concentrazioni sono state ritrovate nei magazzini. In queste aree vi è, infatti, una più elevata

concentrazione per tutti gli inquinanti indagati e in particolare, di terpeni. È possibile ipotizzare che le elevate concentrazioni di COV all'interno dei magazzini siano legate alla presenza di grandi quantità di merce (con relativo packaging) e alla minore efficienza dei sistemi di ventilazione e aspirazione rispetto a quelli presenti nell'area di accesso al pubblico (39).

Per evidenziare le zone più critiche nell'area vendita, in Figura 2 sono stati esclusi i dati relativi ai campioni dei magazzini.

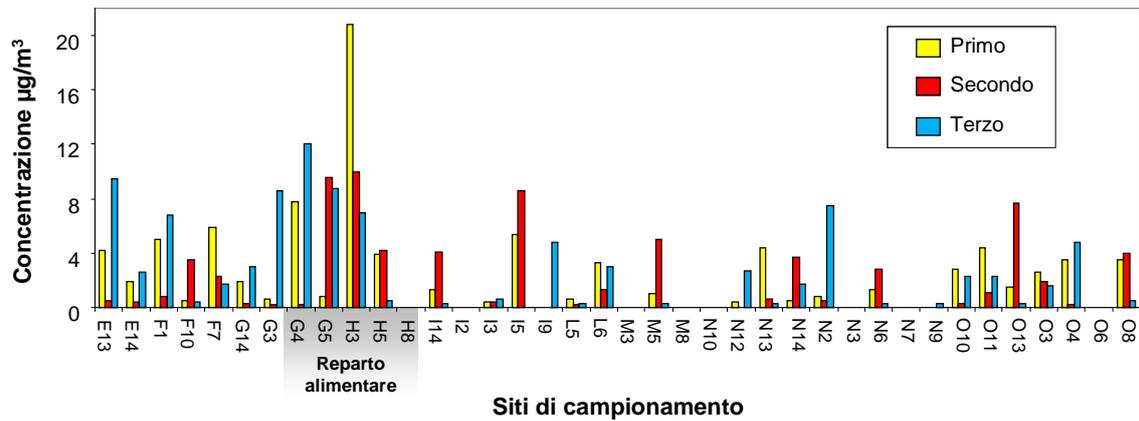


Figura 2. LIMONENE: concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nei tre campioni bigiornalieri relativi all'area vendita

Si osserva come le criticità si concentrano nel reparto alimentare, in particolare nel reparto di pasta fresca/pane e biscotti (G4/G5/H3). Questa evidenza è valida per quasi tutti i COV rilevati.

Al fine di individuare le sorgenti e le attività che determinano gli incrementi delle concentrazioni di COV nel reparto pasta fresca/pane e biscotti) è stato effettuato un monitoraggio in continuo utilizzando un PID. I risultati di queste misure sono mostrati in Figura 3.

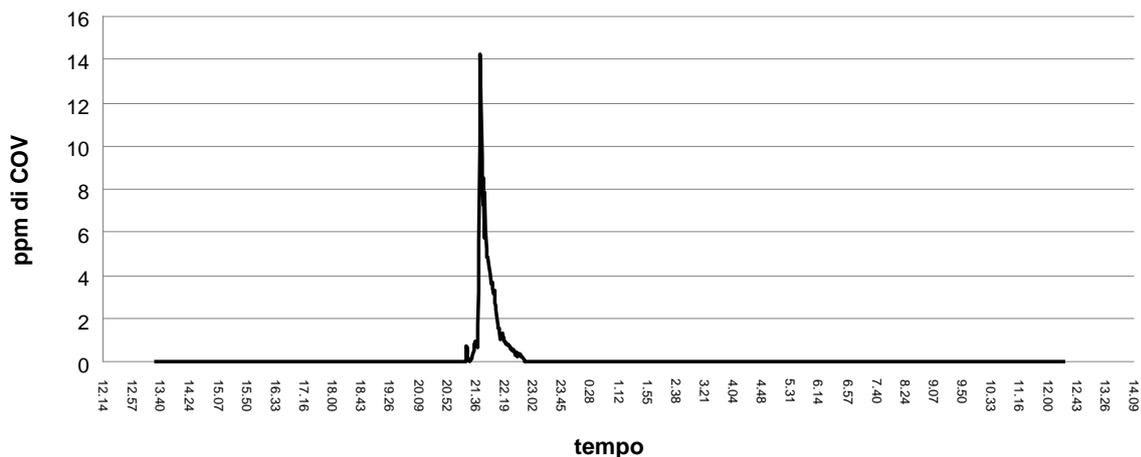


Figura 3. COV totali: andamento temporale delle concentrazioni espressi come ppm equivalenti di isobutilene, nel reparto pasta fresca/pane e biscotti (G4/G5/H3)

Incrociando questi dati con le informazioni provenienti dai questionari si evidenzia come le alte concentrazioni di alcuni COV evidenziate nei campionamenti bigiornalieri possono essere associate alle attività di pulizia e igienizzazione dell'area indagata, che si verificano negli orari di chiusura del supermercato.

Monitoraggio dell'impatto determinato dall'uso di caminetti per il riscaldamento domestico

È crescente l'interesse della comunità scientifica nei confronti dei fenomeni di inquinamento *indoor* connessi alla combustione delle biomasse, come ad esempio l'utilizzo di stufe e caminetti, in relazione anche alle nuove politiche energetiche che ne incentivano l'impiego.

La combustione di biomasse è un complesso processo che prevede una serie di reazioni chimiche il cui risultato finale è l'ossidazione del carbone a CO₂ e la produzione di vapor d'acqua. In condizioni di parziale carenza di ossigeno, la combustione risulta incompleta e si ha la formazione di CO, COV incombusti, particolato fine carbonioso (*soot*) a cui si associano composti organici incombusti allo stato solido come gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) (40, 41). Tali emissioni risultano variabili in ragione del tipo di impianto, della sua manutenzione, delle condizioni di esercizio; inoltre i prodotti di combustione e le loro concentrazioni dipendono anche dalle proprietà specifiche delle biomasse, dai sistemi per i convogliamento dei fumi e dalla ventilazione degli ambienti.

È opportuno ricordare che in ambienti domestici vi sono anche altre attività di combustione che possono contribuire all'aumento della concentrazione di detti inquinanti (cottura dei cibi, fumo di sigarette, ecc.) (42, 43).

Nello studio in oggetto è stato condotto un monitoraggio in abitazioni con caminetti di differente tipologia (aperti, chiusi, termocamini). Le attività di campionamento sono state effettuate utilizzando un campionatore sequenziale per la raccolta della frazione PM₁₀ (campionamenti di 12 ore) e, al fine di comprendere l'evoluzione temporale dei diversi inquinanti in ciascuno stadio di attività del caminetto, è stata utilizzata strumentazione ad alta definizione temporale. In particolare:

- un contaparticelle ottico multicanale per la caratterizzazione in tempo reale della distribuzione granulometrica del materiale particellare aerodisperso (diametro ottico compreso tra 0,28 µm e 10 µm) che sfrutta le proprietà ottiche delle stesse di riflettere la luce di un laser (OPC *Multichannel Monitor- Fai Instruments*) (27);
- un misuratore di particelle submicroniche (*Ultra Fine Particles*, UFP) nel range di dimensioni comprese tra 6 nm e 0,5 µm in grado di fornire uno spettro dimensionale delle particelle nel range indicato (*Fast Mobility Particle Sizer Spectrometer*, FMPS 3091-TSI) (28);
- un analizzatore in continuo per la determinazione degli IPA adsorbiti sulla superficie degli aerosol carboniosi con diametro aerodinamico compreso tra 0,01 e 1 µm (Ecochem PAS 2000) (29, 31, 44);
- un detector a fotoionizzazione per la misura di COV (*Phocheck Tiger-Ion Science*).

In Figura 4 è mostrato l'andamento dei parametri monitorati all'interno di un'abitazione durante le differenti attività. È possibile distinguere i profili e i contributi delle sorgenti (caminetto, fumo di sigaretta, cottura cibi) nelle diverse fasi e la loro variabilità nel tempo in dipendenza dalle condizioni ambientali e di esercizio.

Dalla Figura 5 si può notare che le concentrazioni di COV e di IPA durante la combustione da caminetto e cottura di cibi hanno andamenti confrontabili, mentre nella Figura 6 si evidenzia un significativo incremento di COV totali in seguito all'accensione di una candela profumata che non trova corrispondenza nell'andamento degli IPA totali determinato dalla sola emissione del caminetto.

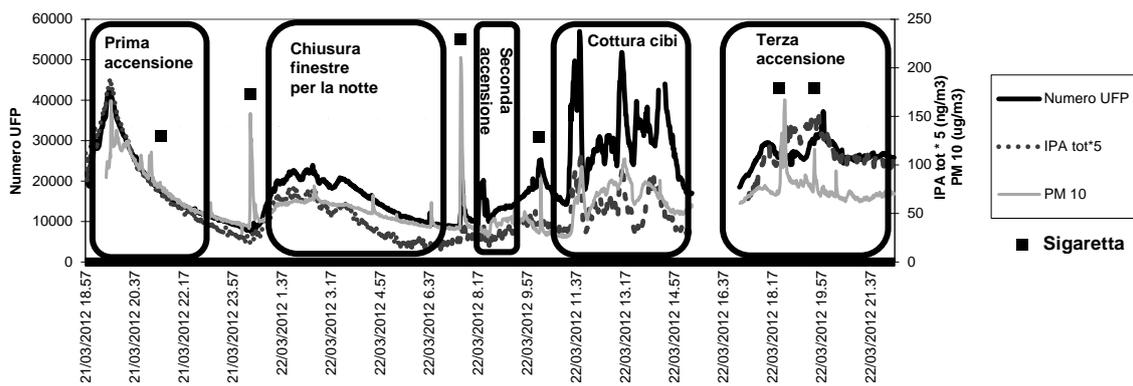


Figura 4. Andamento delle concentrazioni PM₁₀, IPA totali (moltiplicato per 5) e numero di UFP all'interno di una delle abitazioni monitorate

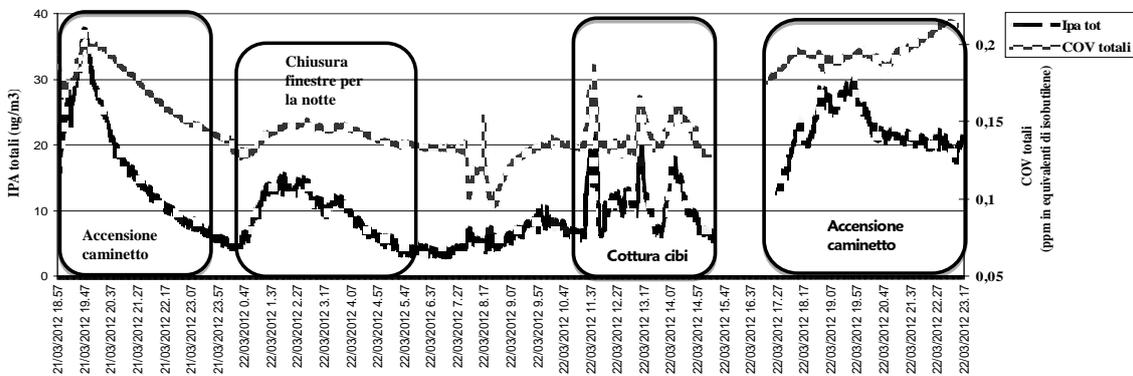


Figura 5. Andamento COV totali e IPA totali durante la cottura dei cibi e funzionamento del caminetto

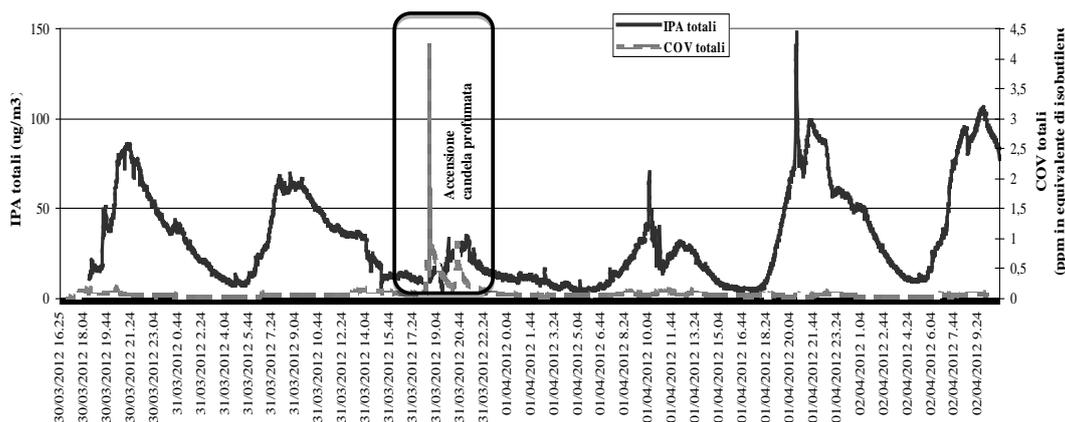


Figura 6. Andamento di COV totali e IPA totali di COV totali in seguito all'accensione di una candela profumata

Bibliografia

1. UNI EN ISO 16000-1. *Aria in ambienti confinati. Parte I: Aspetti generali della strategia di campionamento*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
2. Italia. Decreto Legislativo 27 marzo 2006, n. 161. Attuazione della direttiva 2004/42/CE, per la limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria. *Gazzetta Ufficiale – Supplemento ordinario* n. 100 del 2 Maggio 2006.
3. International Agency for Research on Cancer. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans- Some industrial chemicals and dyestuff. Benzene. Volume 29*. Lyon: IARC; 1982.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for benzene*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services; 1997.
5. International Agency for Research on Cancer. *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Volume 88*. Lyon: IARC; 2006.
6. Bedino JH. Formaldehyde exposure hazards and health effects: a comprehensive review for embalmers. *The Champion Expanding Encyclopedia of Mortuary Practices* 2004;650:2633-49.
7. World Health Organization. *Indoor air quality: organic pollutants*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 1989. (EURO Reports and Studies No. 111).
8. Sarigiannis Dimosthenis A, Karakitsios Spyros P, Gotti Alberto, Liakos Ioannis L, Katsoyiannis Athanasios. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environmental International* 2011;37(4):743-65.
9. Schneider T, Sundel J, Bischof W, Bohgard M, Cherrie J W, Clausen PA, Dreborg S, Kildes J, Kjærgaard S K, Løvik M, Pasanen P, Skyberg K. Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects. *Indoor Air* 2003;13:38-48.
10. Congrong H, Morawska L, Hitchins J, Gilbert D. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* 2004;38:3405-15.
11. Davidson CI, Phalen RF, Solomon PA. Air borne particulate matter and human health: a review. *Aerosol Science and Technology* 2005;39:737-49.
12. UNI EN ISO 16000-5. *Aria in ambienti confinati - Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2007
13. UNI EN ISO 16017-1. *Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2002.
14. UNI EN ISO 16017-2. *Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro - Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare - Parte 2: Campionamento per diffusione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2004.
15. Bruno P, Caputi M, Caselli M, De Gennaro G, De Rienzo M. Reliability of a BTEX radial diffusive sampler for thermal desorption: Field measurements. *Atmospheric Environment* 2005;39(7):1347-55.
16. Angiuli L, Bruno P, Caputi M, Caselli M, De Gennaro G, De Rienzo M. Radial passive samplers for air quality monitoring in field comparison with a BTEX automatic analyser preliminary results. *Fresenius Environmental Bulletin* 2003;12 (10):1167-72.
17. Sunesson A-L. Comprehensive analytical chemistry. In: Greenwood R, Mills G, Vrena B (Ed.). *Passive sampling in combination with thermal desorption and gas chromatography as a tool for assessment of chemical exposure*. Atlanta: Elsevier B.V.; 2007. p. 57-83.

18. Kot-Wasik A, Zabiegała B, Urbanowicz M, Dominiak E, Wasik A, Namieśnik J. Advances in passive sampling in environmental studies. *Analytica Chimica Acta* 2007;602(2):141-63.
19. Partyka M, Zabiegała B, Namieśnik J, Przyjazny, A. Application of passive samplers in monitoring of organic constituents of air. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 2007;37(1):51-78.
20. Król S, Zabiegała B, Namieśnik J. Monitoring VOCs in atmospheric air II. Sample collection and preparation. *Trends in Analytical Chemistry* 2010;29(9):1101-12.
21. U.S. Environmental Protection Agency. *Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air - second Edition*. Cincinnati: Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency; 1999, Disponibile all'indirizzo: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/tocomp99.pdf>; ultima consultazione 12/2/2014.
22. UNI EN 1234. *Qualità dell'aria - Determinazione del particolato in sospensione PM₁₀ - Metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto al metodo di riferimento*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2001.
23. UNI EN 14907. *Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massica PM 2,5 del particolato in sospensione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2005.
24. Hillamo RE, Kerminen V-M, Maenhaut W, Jaffrezo J-L, Balachandran S, Davidson CI. Size distributions of atmospheric trace elements at dye 3, Greenland — I. Distribution characteristics and dry deposition velocities. *Atmospheric Environment* 1993;27:2787-802.
25. Marple VA, Olson BA. A micro-orifice impactor with cut sizes down to 10 nanometers for diesel exhaust sampling. In: Final Report for Grant Number G1145242, G1155242/#2783. Generic Technology Center for Respirable Dust. 1999.
26. Maenhaut W, Ptasinski J, Cafmeyer J. Detailed mass size distributions of atmospheric aerosol species in the Negev Desert, Israel, during ARACHNE-96. *Nucl Instrum Methods Phys Res Sect B-Beam Interact Mater Atoms* 1999;150:422-7.
27. Görner P, Simon X, Bémer D, Lidén G. Workplace aerosol mass concentration measurement using optical particle counters. *Environ Monit* 2012;14:420-28.
28. Tan J, Wen X. FMPS measurement of nanoparticle pollutant in office air Hangzhou, China. In: Ašmontas S, Gradauskas J (Ed.). *Sixth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation. - Proceedings of SPIE China - The International Society for Optical Engineering* Volume 7544, 2010, Article number 754466.
29. Thermal-Optical-Transmittance Analysis for Organic, Elemental, Carbonate, Total Carbon, and OCX2 in PM2.5 by the EPA/NIOSH Method.
30. Jana C, Dunbar, Chen-I. Lin, Isaura Vergucht, Jeffery Wong, John L. Duran. Estimating the contributions of mobile sources of PAH to urban air using real-time PAH monitoring. *The Science of the Total Environment* 2001;1-19.
31. Wolkoff P, Schneider T, Kildeso J, et al. Risk in cleaning: chemical and physical exposure. *The Science of the Total Environment* 1998; 215(1-2):135-56.
32. Geiss O, Giannopoulos G, Tirendi, S, Barrero-Moreno J, Larsen B.R, Kotzias D. The AIRMEX study - VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. *Atmospheric Environment* 2011;45 (22):3676-84.
33. Wolkoff P. Volatile organic compounds sources, measurements, emissions, and the impact on indoor air quality. *Indoor Air* 1995;5(S3):5-73.

34. Pegas Alves CA, Evtuygina MG, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, Pio CA, Almeida SM, Cabo Verde S, Freitas-J MC. Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon-P. *N Environ Monit* 2011;13:657-67.
35. Bruno P, Caselli M, De Gennaro G, Iacobellis S, Tutino M. Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments. *Indoor Air* 2008;18 (3): 250-6.
36. Caselli M, De Gennaro G, Saracino MR, Tutino M. Indoor contaminants from newspapers: VOCs emissions in newspaper stands. *Environmental Research* 2009;109(2):149-57.
37. UNI EN ISO 16000-9. *Aria in ambienti confinati - Parte 9: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti di costruzione e da prodotti di finitura – Metodo in camera di prova di emissione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
38. UNI EN ISO 16000-10. *Aria in ambienti confinati - Parte 10: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti di costruzione e da prodotti di finitura – Metodo in cella di prova di emissione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
39. ISO 16000-6. *Indoor air - Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID*. Geneva: International Organization for Standardization; 2007.
40. Tang J, Chan CY, Wanga X, Chan LY, Sheng G, Fu J. Volatile organic compounds in a multi-storey shopping mall in Guangzhou, South China. *Atmospheric Environment* 2005;39:7374-83.
41. Afshari A, Matson U, Ekberg LE. Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: A study conducted in a full-scale chamber. *Indoor Air* 2005;5:141-50.
42. Gehin E, Ramalho O, Kirchner S. Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmospheric Environment* 2008;42:8341-52.
43. Miller SL, Nazaroff WW. Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments. *Atmospheric Environment* 2001;35:2053-67.
44. Wilson R, Barbour NK, Chuang RK, Mukund JC. Evaluation of a real-time monitor for fine particle-bound PAH in air. *Polycyclic Aromatic Compound* 1994;5:167-74.

RILEVAMENTI INQUINAMENTO *INDOOR*: ESPERIENZA NEL TERRITORIO DI FABRIANO

Daniela Cimini (a), Daniel Fiacchini (a), Giorgia Capezzone (a), Virgilio Bernardi (a),
Francesca Petruio (a), Marta Grifia (a), Manrico Marzocchini (b), Angelamichaela Siciliani (b),
Paola Tombolesi (b), Gianluca Coppari (b), Mauro Fabbretti (b)
(a) *Dipartimento di Prevenzione, Area Vasta 2 Fabriano, Azienda Sanitaria Unica Regionale Marche, Ancona*
(b) *Servizio Suolo Rifiuti, Servizio Aria, Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche, Ancona*

Problematiche ambientali

L'importanza crescente che la qualità dell'ambiente riveste per la salute umana è sottolineata non solo in ambito scientifico, ma appare sempre più evidente sui mezzi di informazione come "fatto di cronaca", investendo l'opinione pubblica e rappresentando una sfida anche nell'ambito della politica internazionale. La crescente consapevolezza dell'esistenza di una stretta interazione tra ambiente e salute umana, talvolta non scevra da aspetti emotivi, è supportata da molteplici ricerche e valutazioni che evidenziano come molte patologie siano attualmente riconducibili a fattori ambientali.

Nel corso degli ultimi anni, alcune istanze sono giunte dalla popolazione di Fabriano in merito a possibili effetti sulla salute derivanti dall'esposizione ambientale ad inquinamento da composti organo-clorurati, abbondantemente presenti nella falda freatica di due ampi quartieri della città. Per affrontare il problema, l'Assessorato, Servizio Ambiente del Comune di Fabriano ha instaurato una collaborazione con il locale Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda Sanitaria Unica Regionale (ASUR) Marche, con Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale ed è stato costituito un gruppo tecnico che, dal 2010, ha coinvolto il Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria dell'Istituto Superiore di Sanità.

Tra le azioni fortemente richieste dalla popolazione, residente nei quartieri coinvolti, è stata data importanza allo studio dei possibili effetti sulla salute da esposizione cronica all'inquinante e per tale motivo, oltre alla contaminazione delle acque, è stato effettuato un approfondimento della qualità dell'aria per valutare natura ed entità di un eventuale contaminazione.

Inquinamento da tetracloroetilene e altri composti organo-clorurati a Fabriano

Un referto analitico risalente al 12 febbraio 1997 e relativo ad un pozzo pubblico situato nel quartiere Campo Sportivo della città di Fabriano (Provincia di Ancona, Regione Marche), dimostra, a quella data, l'assenza di contaminazione delle acque da tricloro e tetracloroetilene tetracloroetilene (detto anche Percloroetilene, PCE). La prima rilevazione di tali inquinanti è stata accertata con un referto analitico, relativo al medesimo pozzo pubblico, del 22 settembre 1998. Data la limitatezza dei dati allora disponibili e la tipologia delle sostanze chimiche coinvolte, non si può escludere che si siano verificate contaminazioni coinvolgenti aree limitrofe e precedenti al 1997.

Nell'anno 1999, veniva riscontrata la presenza di solventi organo-alogenati superiori al limite stabilito dal DPR 236/1988 in alcuni pozzi del Comune di Fabriano. Successivamente il Comune di Fabriano comunicava alla Regione Marche, alla Provincia di Ancona e all'ARPAM (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche), la presenza di inquinamento da PCE in un'ampia zona del comune di Fabriano. La contaminazione da PCE e da altri solventi organici clorurati come il Tricloroetilene (TCE) è stata individuata nelle acque sotterranee di falda freatica, presente ad una profondità media di circa 18-20 metri dal livello del suolo.

I controlli sono stati progressivamente intensificati e, per quanto riguarda le acque sotterranee, a partire dall'anno 2002 sono stati eseguiti da parte dei tecnici dell'ARPAM svariati campionamenti (circa 80 pozzi, sia pubblici che privati, distribuiti nell'area coinvolta dalla contaminazione) che hanno evidenziato concentrazioni di PCE, variabili da pochi $\mu\text{g/L}$ sino a picchi massimi (ottenuti in periodi di siccità) di circa 2.000 $\mu\text{g/L}$. Successivamente, sulla base delle concentrazioni rilevate e della direzione principale di deflusso della falda, sono stati monitorati solamente i pozzi che presentavano un inquinamento significativo ed è stata emessa un'apposita ordinanza comunale, finalizzata a vietare l'emungimento dell'acqua per qualsiasi scopo dai pozzi ubicati nell'area interessata dalla contaminazione e al contempo sono stati effettuati specifici controlli delle attività potenzialmente pericolose ricadenti nell'area interessata. Tali indagini non hanno fornito elementi per l'identificazione dei responsabili della contaminazione ambientale. Nel mese di aprile 2012 sono stati monitorati oltre 80 pozzi per l'aggiornamento del Piano di caratterizzazione.

L'area del centro abitato di Fabriano, interessata dalla contaminazione delle acque sotterranee, inizia dalla zona del quartiere Campo Sportivo e si sviluppa a valle secondo l'andamento delle caratteristiche idrogeologiche del suolo sino ad interessare, con concentrazioni sensibilmente minori, il quartiere Santa Maria (Figura 1).

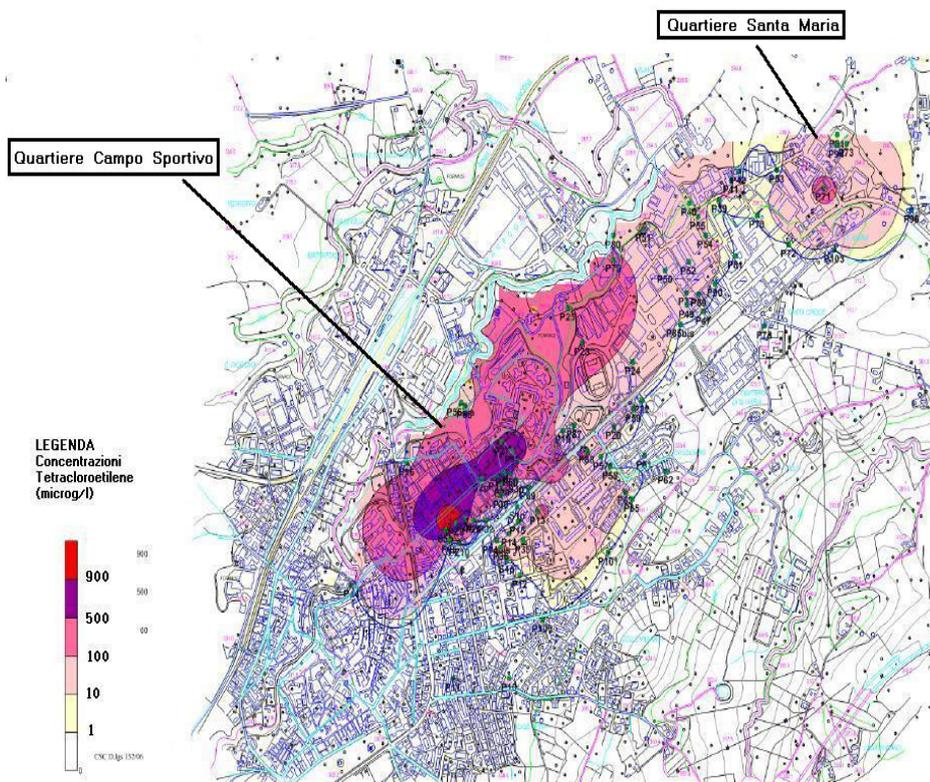


Figura 1. Diffusione della contaminazione da PCE a Fabriano

È possibile consultare una cartografia più dettagliata presso il sito del Comune di Fabriano, dove vengono visualizzati tutti i pozzi censiti, la viabilità principale e una perimetrazione (solo indicativa) dell'area coinvolta.

PCE, inquinamento dell'aria e indicazioni delle linee guida internazionali

Il PCE, a temperatura ambiente, è un liquido denso e incolore, con un caratteristico odore di etere, non infiammabile. Il PCE è molto volatile, è mediamente solubile in acqua; inoltre è molto più denso dell'acqua, ma meno viscoso pertanto è mediamente mobile nel suolo, non tende a accumularsi nei pesci e in altri organismi. Nell'aria atmosferica il PCE è presente essenzialmente sotto forma di vapore e, se immesso nell'ambiente e nell'acqua, tende rapidamente a volatilizzare e si degrada lentamente. Anche in ambienti sotterranei il PCE può essere lentamente degradato e, in condizioni di assenza di ossigeno, può trasformarsi lentamente in altri composti pericolosi che persistono nell'ambiente (TCE e cloruro di vinile). Pertanto, in caso di sversamenti e scarichi massivi il PCE, può raggiungere le acque superficiali e i primi strati di suolo, disperdendosi in buona parte nell'aria, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee e in tali ambienti può provocare contaminazioni di lunga durata.

Il PCE non è presente naturalmente nell'ambiente (1), ma è un tipico indicatore di contaminazione industriale. Il PCE è considerato da molti anni un contaminante diffuso in tutti gli ambienti e può essere ritrovato nell'aria atmosferica, nell'aria *indoor* e nelle acque, in tutti i paesi industrializzati. La diffusione del PCE, così come di altri solventi clorurati, dipende dal suo uso massiccio in svariate attività come le lavanderie a secco, lo sgrassaggio e la pulizia dei metalli, la pulitura delle fibre tessili. È ampiamente impiegato come idrorepellente, sverniciante, nell'industria chimica e farmaceutica e, infine, nell'uso domestico. In Italia la legge considera i rifiuti contenenti PCE come "rifiuti pericolosi", pertanto tali rifiuti non devono essere smaltiti in fognatura.

Il PCE è assorbito dall'uomo principalmente per inalazione e anche per ingestione di acqua (2) e alimenti. Nel caso di inalazione, gli organi colpiti dagli effetti tossici sono il sistema nervoso centrale, il fegato e i reni. In seguito all'inalazione di dosi elevate di PCE per un breve periodo (a partire da 339 mg/m³ e fino a 1890-2600 mg/m³), è stata osservata la progressiva comparsa di irritazioni degli occhi, della pelle e del tratto respiratorio, vertigini, nausea, disturbi alla vista, stato di incoscienza. Esposizioni inalatorie prolungate o ripetute al PCE possono produrre, oltre a infiammazioni della pelle e del tratto respiratorio, anche danni al fegato e ai reni e causare l'insorgenza di tumori (esposizione prolungata nei luoghi di lavoro). In seguito all'ingestione di acqua e alimenti contaminati da PCE, per un breve o lungo periodo, non vi sono molti dati sull'uomo e la maggioranza di essi deriva da studi su animali da laboratorio. Per l'esposizione orale umana a breve termine si riportano effetti a livello del sistema nervoso, cardiovascolare e del fegato. Per esposizioni molto prolungate, il PCE provoca tumori negli animali di laboratorio. Per la valutazione del rischio di insorgenza di tumori nell'uomo, in generale si fa riferimento a quanto viene stabilito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (*International Agency for Research on Cancer, IARC*). Nel caso del PCE, la IARC ha classificato tale composto come probabile cancerogeno umano, inserendolo nel Gruppo 2A (3). La classificazione del PCE nel Gruppo 2A sta a significare che, per esso, vi sono sufficienti evidenze scientifiche di cancerogenicità sugli animali e limitate evidenze di cancerogenicità sugli esseri umani.

Nelle linee guida per la qualità dell'aria per l'Europa dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (4) vengono indicate le proprietà chimico-fisiche del PCE, le fonti di inquinamento ambientale e la modalità di distribuzione in ambiente e nell'organismo sulla base degli studi epidemiologici esistenti. Vengono poi descritti gli effetti sulla salute umana basati sugli studi degli esposti occupazionali a tale inquinante.

Nella valutazione dei rischi per la salute umana, è stato messo in evidenza, in base agli studi effettuati in diversi centri urbani e rurali, come le concentrazioni ambientali di PCE siano generalmente inferiori a 5 mg/m^3 nelle aree urbane e ad 1 mg/m^3 nelle aree rurali. Le concentrazioni *indoor* sono generalmente inferiori a 5 mg/m^3 mentre le concentrazioni *indoor* in abitazioni situate in prossimità di lavanderie a secco, o in appartamenti dove per abitudine si indossano abiti spesso portati in lavanderia, superano spesso 1 mg/m^3 raggiungendo anche concentrazioni di 5 mg/m^3 .

Sulla base dei dati derivanti da studi sugli animali da esperimento, da studi sui lavoratori e dei livelli di esposizione negli studi effettuati, l'OMS e le altre Autorità sanitarie internazionali e nazionali, hanno definito le concentrazioni di PCE che possono essere considerate "accettabili", ossia prive di rischio significativo per la popolazione generale a seguito di esposizione ad aria e acqua contaminate (esposizione non verificatasi nei luoghi di lavoro). Tali concentrazioni sono denominate e costituiscono un punto di riferimento sia per le valutazioni di rischio tossicologico, sia per la definizione dei limiti di legge nazionali. L'OMS ha stabilito, per il PCE, un valore di linea guida per l'aria di $250 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ($0,25 \text{ mg/m}^3$) come media di esposizione annuale per la popolazione generale. Questa concentrazione è stata dedotta, considerando i dati tossicologici e non quelli di rischio di tumore. Tuttavia, l'OMS richiama la necessità di approfondire prossimamente i processi di valutazione del rischio relativi alla cancerogenicità del PCE per via respiratoria.

Nella normativa vigente in Italia non è ad oggi definito un valore standard per le concentrazioni nell'aria del PCE per la protezione della salute della popolazione generale. Per le valutazioni di rischio, dunque, si fa riferimento alle linee guida dell'OMS per l'aria ed eventualmente a valori guida e standard regolatori stabiliti in altri Paesi.

Rilevamenti *indoor*

Valutata la necessità di studiare nel dettaglio le ripercussioni ambientali collegate all'inquinamento da PCE gli enti coinvolti (il Dipartimento di Prevenzione e l'ARPAM) hanno studiato la qualità dell'aria nei quartieri "Campo Sportivo" e "Santa Maria" di Fabriano. Dal 2005 sono stati effettuati degli accertamenti in tre distinte campagne di monitoraggio, al fine di valutare la qualità dell'aria di alcuni edifici pubblici, posizionati sia nelle zone interessate dalla contaminazione delle acque sotterranee sia in zone al di fuori dell'area interessata.

Il monitoraggio è stato effettuato con il posizionamento di campionatori passivi Radiello®. Sono stati scelti gli edifici pubblici maggiormente significativi al fine di verificare lo stato degli ambienti interrati e seminterrati.

La prima campagna di monitoraggio, effettuata nell'anno 2005 dal personale tecnico dell'ARPAM presso l'Asilo nido "Petrarca", la Scuola materna ed elementare "A. Moro", la stazione di pompaggio acquedotto pubblico zona Stadio e l'ex Asilo nido "Qui, Quo, Qua", ha stabilito una concentrazione media di PCE in ambiente interno pari a $1,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; tale valore risulta essere molto inferiore a quello indicato nelle linee guida della qualità dell'aria per l'Europa (2000) dell'OMS (4). La seconda campagna, realizzata nel periodo aprile-maggio dell'anno 2010, sempre dal personale tecnico dell'ARPAM presso la sede ASUR via Brodolini, l'Asilo nido "Petrarca", la Scuola materna ed elementare "A. Moro", l'ex Asilo nido "Qui, Quo,

Qua”, la Sede UniFabriano e l’Ostello di Campodonico, ha stabilito valori ancora più bassi della precedente campagna di monitoraggio. Tali valori sono compresi tra $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L’analisi dei campioni effettuata “in parallelo” dal Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione primaria dell’Istituto Superiore di Sanità, su due siti (ex Asilo nido “Qui, Quo, Qua” e l’Ostello di Campodonico) ha evidenziato valori sovrapponibili a quelli indicati dall’ARPAM.

Un terzo monitoraggio effettuato dal 25 febbraio all’11 marzo 2011, negli stessi siti del precedente campionamento, ha rilevato una concentrazione di PCE con valori compresi tra il limite di determinazione e $2,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

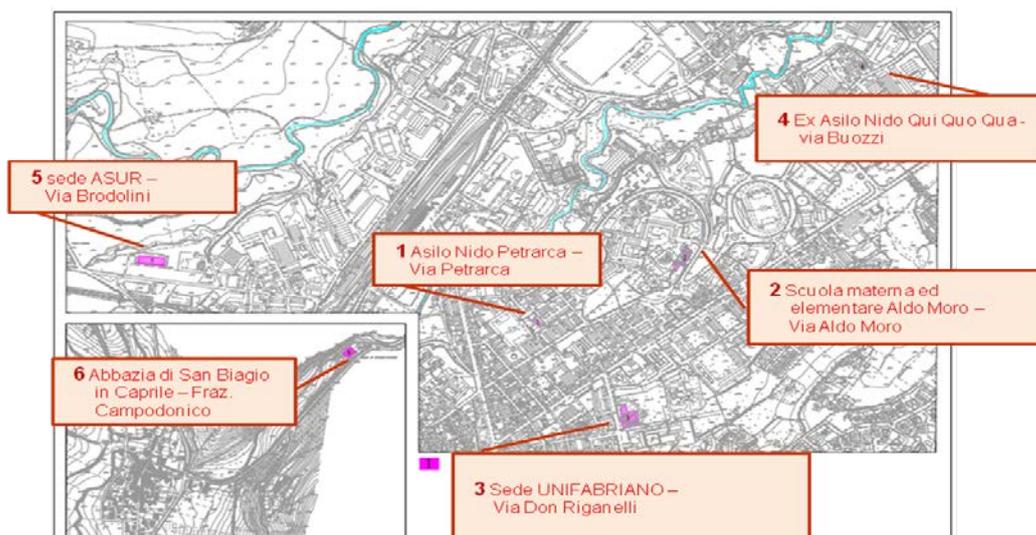


Figura 2. Monitoraggio dell’aria a Fabriano (campionamenti 2010 e 2011)

Gli unici valori discordanti riscontrati sono quelli della sede dell’ASUR (al di fuori dell’area di contaminazione) e dell’*indoor* dell’ex Asilo nido “Qui, Quo, Qua” che sono risultati superiori agli altri siti e discordanti tra loro (Tabella 1).

Tabella 1. Concentrazioni di PCE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nei siti monitorati (nel 2005, 2010 e 2011)

Sito		PCE 2005*	PCE 2010*	PCE 2011
Sede ASUR, SISP	<i>indoor</i>	non rilevato	3,68	45,73
	<i>outdoor</i>	non rilevato	5,76	6,31
Ex Asilo nido “Qui, Quo, Qua”	<i>indoor</i>	2,66	0,20	10,17
	<i>outdoor</i>	1,15	0,08	0,78
Scuola materna ed elementare “A. Moro”	<i>indoor</i>	1,50	0,08	2,07
	<i>outdoor</i>	0,21	0,40	I.L.D.
Asilo nido “Petrarca”	<i>indoor</i>	0,27	0,08	I.L.D.
	<i>outdoor</i>	0,27	0,09	I.L.D.
UniFabriano	<i>indoor</i>	non rilevato	0,09	0,50
	<i>outdoor</i>	non rilevato	0,12	2,77
Ostello di Campodonico	<i>indoor</i>	non rilevato	0,04	0,19

* valore medio di due campionamenti

Considerazioni e conclusione

L'esperienza nel territorio fabrianese dimostra la necessità di implementare gli studi relativi all'inquinamento *indoor* e individuare metodi di rilevamento più puntuali, soprattutto in riferimento a modelli generici che, se utilizzati, non possono rispondere alle istanze proposte in ambito sanitario e ambientale. Nella maggior parte dei casi vi è urgenza di confrontare le conoscenze e studiare le relazioni tra l'ambiente *indoor* e quello esterno, non solo per ciò che riguarda la qualità dell'aria come tale ma anche per quanto concerne l'interferenza in ambienti *indoor* degli inquinanti presenti nelle falde e nei suoli contaminati, con le problematiche di *vapor intrusion* e *soil gas*.

È fortemente sentito da parte degli operatori il bisogno di avere dei solidi riferimenti scientifici ed è quindi auspicabile la fruizione di linee guida nazionali che, elaborate da diversi Enti, possano delineare più puntuali strategie di monitoraggio dei composti organici volatili.

Bibliografia

1. Settimo G. La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. *Not Ist Super Sanità* 2012; 25(5):7-10.
2. World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition*. Geneva: WHO; 2011. Disponibile all'indirizzo: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf; ultima consultazione 13/11/2012.
3. International Agency for Research on Cancer. *Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals*. Lyon: IARC; 1995. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 63). Disponibile all'indirizzo: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol63/mono63.pdf>; ultima consultazione 13/11/12.
4. World Health Organization, WHO Regional Office for Europe. *Air quality guidelines for Europe. Second edition*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000. (WHO Regional Publications, European Series, No. 91). Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf; ultima consultazione 13/11/12.

QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI CONFINATI: LE ATTIVITÀ DELL'ISPRA

Maria Belli, Silvia Brini, Giorgio Cattani, Francesca De Maio, Alessandro Di Menno Di Bucchianico, Arianna Lepore, Francesco Salvi, Maria Gabriella Simeone, Luciana Sinisi, Anna Maria Sotgiu, Giancarlo Torri, Jessica Tuscano
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma

Introduzione

L'esposizione agli inquinanti dell'aria rappresenta un rischio per il benessere e la salute dell'uomo e degli ecosistemi. A livello internazionale si è sviluppata nel corso degli ultimi decenni una forte attenzione per l'inquinamento atmosferico dell'aria ambiente (*outdoor*) che ha portato, attraverso l'adozione di idonee misure quali il controllo delle emissioni degli inquinanti atmosferici, alla riduzione o all'eliminazione di alcuni componenti inquinanti nei combustibili, all'individuazione delle concentrazioni massime consentite e a una significativa riduzione di alcuni contaminanti nell'ambiente atmosferico.

La considerazione poi che la popolazione, soprattutto nelle aree urbane, trascorre la maggior parte del tempo in ambienti chiusi (*indoor*) ha indotto la comunità scientifica internazionale a occuparsi della contaminazione dell'aria negli ambienti di vita: l'inquinamento *indoor* può, infatti, causare effetti indesiderati che vanno dal disagio sensoriale a gravi conseguenze sullo stato di salute. Numerose indagini sull'utilizzo del tempo da parte della popolazione dei paesi maggiormente sviluppati hanno rivelato che le persone trascorrono pochissimo tempo all'aperto soprattutto nelle aree urbane; la maggiore parte del tempo viene trascorsa in ambienti chiusi (a casa, in ufficio, a scuola, sui mezzi di trasporto). Pertanto la fonte di esposizione principale ad alcuni inquinanti atmosferici è rappresentata spesso proprio dalla contaminazione dell'aria *indoor*. Il problema è ancora più importante per alcune fasce di popolazione particolarmente sensibili (gli anziani, i bambini, persone con patologie respiratorie).

Negli ultimi dieci anni l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha realizzato studi e rapporti tecnici sull'inquinamento negli ambienti confinati. Ha partecipato e partecipa a diversi progetti sia nazionali che internazionali e, per coadiuvare le strategie di prevenzione all'esposizione all'inquinamento *indoor*, ha messo in atto numerose azioni volte alla diffusione di informazioni corrette dal punto di vista tecnico-scientifico e il più possibile complete e aggiornate, avvalendosi di siti tematici realizzati *ad hoc*. Di seguito vengono illustrate le attività che l'ISPRA porta avanti relativamente all'inquinamento *indoor*. Le iniziative intraprese affrontano la problematica mediante diversi approcci e obiettivi: si va dal focus "ambiente urbano", all'approccio sociologico della percezione del rischio, agli aspetti sanitari correlati, alla problematica della concentrazione del radon *indoor*, fino alla divulgazione delle informazioni sulle cause e la prevenzione dell'inquinamento negli ambienti confinati.

Il sito sull'inquinamento *indoor*

A partire dal 2004 fino al 2013 sul portale di ISPRA è stato attivo un sito dedicato a fornire informazioni agli utenti sull'inquinamento *indoor*. Per favorire il trasferimento di informazioni

su fonti di inquinanti, principali tipologie di contaminanti, ambienti confinati in cui più spesso si trascorre il tempo e accorgimenti per minimizzare l'esposizione era stato realizzato un *virtual tour* che attraverso l'uso di vignette e di testi sintetici con linguaggio divulgativo dava informazioni e indicazioni. Gli ambienti confinati analizzati nel *virtual tour* erano Ufficio, Casa, Scuola e il sistema consentiva un percorso guidato sulle vignette permettendo di attivare i testi corrispondenti cliccando sui disegni attivi che mostravano la fonte di potenziale inquinamento *indoor*. Venivano fornite inoltre informazioni di maggiore dettaglio e approfondimento nel menù presente nell'homepage del sito con riferimento a: tipologia di ambienti confinati (ufficio, casa, scuola, mezzi di trasporto), fonti di inquinamento (ambienti di vita domestica, ambienti di studio e di lavoro), agenti inquinanti (chimici, biologici, fisici), ambienti confinati e salute (allergie, malattie respiratorie, infezioni, effetti irritativi, effetti sul sistema nervoso, effetti sul sistema cardiovascolare, effetti cancerogeni, sindromi correlate all'inquinamento *indoor*). Inoltre nel sito erano presenti sezioni dedicate a: eventi e news, pubblicazioni, link utili.

Le principali fonti ambientali di inquinanti *indoor* in casa sono:

- fumo di tabacco
- ambiente esterno
- materiali da costruzione
- pareti, pavimenti e soffitti
- vernici e materiali di rifinitura
- arredamento
- tappezzeria
- sistema di riscaldamento, stufe e camini
- condizionatori e deumidificatori
- umidità
- piano di cottura
- candele, incensi e deodoranti
- prodotti per la pulizia della casa
- prodotti per la cura personale
- insetticidi
- animali domestici
- abiti
- apparecchi e impianti elettrici.

A riprova dell'efficacia comunicativa del sito, di recente è stato pubblicato un volume in merito (1).

Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano

A partire dal 2004 l'ISPRA, con il Sistema delle agenzie ambientali (ARPA/APPA), pubblica il Rapporto annuale sulla qualità dell'ambiente urbano per fornire agli amministratori locali e centrali, agli addetti ai lavori, agli utenti in generale la migliore e più aggiornata informazione disponibile sulla qualità dell'ambiente nelle principali città italiane. Fra i numerosi temi trattati nelle diverse edizioni del Rapporto si propone anche l'inquinamento *indoor*. È noto agli addetti ai lavori che non esistono a livello nazionale o internazionale metodi di campionamento e analisi standardizzati per il rilevamento dell'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati. Volendo quindi suggerire una visione complessiva della situazione nelle città italiane è stato selezionato un insieme di indicatori proxy¹, basati su informazioni di tipo socio-economico e sanitario, per valutare l'inquinamento *indoor* nelle città analizzate (2-6) che

consente di comporre un quadro di riferimento armonizzato della situazione nelle aree urbane italiane. Nell'ultima edizione del Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano (edizione 2010) gli indicatori proposti sono riportati nella Tabella 1 (7).

Tabella 1. Set di indicatori per la valutazione dell'inquinamento *indoor*

Indicatore	Unità di misura	Anno/i considerati	Ambito territoriale considerato
Reddito annuale necessario per acquistare una casa di buona qualità di 60 m ² (a)	euro/anno	2003-2009	26 comuni
Stanze per residente (b)	numero	2001	48 comuni
Fumatori (persone di 14 anni e più) (b) (c)	percentuale	2001-2009	20 regioni
Famiglie dotate di condizionatori (b)	percentuale	2001-2009	20 regioni
Casi di legionellosi (d)	n. casi/residenti *100.000	1996, 2000, 2004, 2008	47 province

- (a) Indicatore di benessere abitativo, fattore determinante o di pressione proprio della dimensione sociale. È funzionale alla conoscenza della dimensione sociale della comunità, della famiglia e delle condizioni ambientali.
- (b) Indicatore di rischio e di potenziale impatto sulla salute. È funzionale alla conoscenza delle condizioni o attività potenzialmente rischiose per la salute degli individui.
- (c) Il fumo passivo rappresenta uno dei principali problemi che influenza la qualità dell'aria negli ambienti confinati ma si tratta di un dato difficilmente monitorabile. Si è quindi scelto di monitorare l'andamento della percentuale di fumatori attivi che può costituire una misura, anche se di tipo indiretto, di potenziale esposizione al fumo.
- (d) La legionellosi è un'infezione tipicamente legata all'inquinamento *indoor* di tipo biologico.

Nell'ambito del set di indicatori analizzati emerge che il reddito necessario medio per acquistare una casa di buona qualità è aumentato complessivamente del 25% dal 2003 al 2009 nelle principali 26 città italiane. Trend in aumento sono segnalati anche nel caso della percentuale delle famiglie dotate di condizionatore (dal 2001 al 2009 il dato medio nazionale passa dal 10,7% al 30,8%) e dall'incidenza dei casi di legionellosi (in Italia aumenta da 0,23 nel 1996 a 1,75 casi ogni 100.000 residenti nel 2008). Una lieve diminuzione, invece, si rileva nel caso della percentuale di fumatori che negli anni 2001-2009 passa da 23,8% a 23,0%. Un altro dato positivo è costituito dal fatto che in generale nelle 48 città italiane in esame ogni abitante dispone di almeno una stanza, non evidenziando particolari problemi di affollamento.

Studi sull'inquinamento *indoor*

Percezione del rischio da inquinamento *indoor*

Nel 2009 l'ISPRA ha pubblicato uno studio commissionato al Dipartimento di Ricerca Sociale e Metodologia Sociologica dell'Università Sapienza di Roma (8). L'obiettivo dello studio era una prima valutazione del grado di consapevolezza dei rischi presenti nell'ambiente domestico che pure se percepito come tra i più "sicuri" spesso nasconde insidie per la nostra salute a seguito dell'esposizione a inquinanti *indoor*. L'approccio generale della ricerca ha utilizzato il filone di studi che va sotto il nome di *social perception of risk*. È stato somministrato un questionario ad un totale di 700 soggetti residenti in due municipi di Roma che si distinguono in base alle caratteristiche di composizione demografica e territoriale.

Gli esiti dello studio relativi all'analisi monovariata dei risultati del questionario ci dicono che tra le fonti che inquinano l'aria interna delle abitazioni vengono valutate "molto" e "moltissimo inquinanti" gli insetticidi (77,6% degli intervistati) e il fumo di tabacco (77,5%) seguiti dalle vernici (37,9%) e dai prodotti per la pulizia (33,9%); con riferimento alle risposte valide (76% degli intervistati), e relativamente ad una valutazione di sintesi delle fonti di inquinamento *indoor*, si registra un 58,2% di intervistati che ha un'"alta" o "medio-alta" percezione di questo problema ambientale; il 20,4% dichiara di essere "poco" o "per niente sicuro" per la propria salute rispetto alla qualità dell'aria; il 33,3% degli intervistati pensa che l'aria dell'abitazione dove abita sia inquinata "spesso" o "molto spesso".

È stata poi realizzata un'analisi bivariata che tende a rilevare relazioni tra coppie di variabili. Nello studio vengono messi in connessione lo "stato di salute", gli "interessi ambientali", i "comportamenti pro-ambientali" e l'"abitazione/fabbricato" con quelle che nello studio sono considerate le variabili dipendenti, cioè con gli indicatori di percezione sociale del rischio di inquinamento *indoor*; nel dettaglio, data la rilevanza dell'abitazione nell'economia generale della ricerca il tema relativo all'abitazione/fabbricato è stato articolato in tre sotto-nuclei descrittivi: il "periodo di costruzione del fabbricato", lo "stato di conservazione della casa" e la "tipologia dell'edificio". In relazione allo "stato di salute" dai risultati dell'analisi si configura un certo legame tra stato di salute e percezione del rischio scaturito dalla qualità dell'aria interna inoltre coloro che si sentono "bene" o "molto bene" avvertono un pericolo per la salute "molto alto" (85%) dovuto a una cattiva qualità dell'aria *indoor*; con riferimento all'interesse per i problemi ambientali risulterebbe che i pro-ambientalisti empirici non mostrano una maggiore consapevolezza sull'inquinamento *indoor* rispetto agli altri intervistati ma si distinguono per l'approvazione piena della legge sul fumo. Infine per quanto riguarda l'abitazione/fabbricato è stato rilevato come: più è recente l'anno di costruzione dell'edificio più gli intervistati si dichiarano "sicuri" a casa loro; dichiara la qualità dell'aria "cattiva" quasi il 40% (38,7%) di coloro che ritengono "mediocre" lo stato di conservazione della casa; reputano la qualità dell'aria "cattiva" il 15,6% di coloro che abitano in palazzine isolate dagli altri edifici contro il 25,3% di coloro che abitano in edifici urbani in contiguità edilizia con altri fabbricati.

Con l'analisi delle corrispondenze multiple, un metodo di analisi multivariata che consente l'indagine anche in presenza di variabili qualitative ed è quindi particolarmente adatto nell'analisi di rilevamenti tramite questionari, vengono individuati due clusters: comportamento passivo di fronte al rischio di inquinamento *indoor* e percezione più consapevole e informata con un comportamento attivo pro-ambientale o contro l'inquinamento. Nel secondo cluster risultano individui appartenenti alle classi di età di 30-49 anni e 50-65 anni con un titolo di studio elevato (laurea breve o magistrale) che si collocano politicamente a sinistra, sono lavoratori autonomi o dipendenti, leggono articoli sull'inquinamento e sono disposti a spendere anche oltre 200 euro al mese per contrastare l'inquinamento *indoor*.

Aspetti generali e casi studio in Italia

A fine 2010 l'ISPRA ha pubblicato un rapporto tecnico dal titolo "Inquinamento *indoor*: aspetti generali e casi studio in Italia" (9). È stato messo in evidenza come, sulla base degli studi analizzati (10-14), la popolazione trascorra la maggior parte del tempo all'interno dell'abitazione (53-67%) o nel luogo di lavoro o di studio (15-35%). In questa analisi non sono stati considerati altri ambienti di vita quali palestre, cinema, centri commerciali, ecc.

È stata inoltre condotta un'analisi degli studi relativi alla presenza di inquinanti atmosferici *indoor* in diverse tipologie di ambienti confinati nelle città italiane e sulla base di tali studi sono state individuate le sostanze o le tipologie di sostanze che più frequentemente ricorrono e il

livello di concentrazione riscontrato. Nella Tabella 2 si riportano in forma sintetica alcuni risultati del rapporto (9).

Tabella 2. Intervalli di concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di alcuni inquinanti *indoor* nei principali ambienti confinati

Inquinante	Abitazione	Ambiente lavorativo	Scuola	Tempo di misura**
CO	2,4·10 ^{3*}	2,2·10 ^{3*} (a)		48 h
	2,0·10 ^{3*} -3,9·10 ^{3*}			
NO ₂	45,2			14 giorni
	24-28* (Pisa)			48 h
	28-41* (Delta del Po)			
	40,0			1 settimana
	28-39*			48 h
	24-60*			48 h
CH ₂ O		14,7		1 settimana
	12,3-13,2			10 giorni
	20,7	17,9 (b)		30 giorni
		9,0-23,2 (c)	8,5-22,3	1 settimana
		86-490* (a)		30 min
C ₆ H ₆		3,0-5,0		1 settimana
	2,7-5,9			4 giorni
		2,8-17,1 (c)	2,3-4,4	1 settimana
	2,1-7,2			15 giorni
	1,5-9,1			1 mese
	51,8-58,6*			24 h
VOC		175,3-1.393,3 (d)		24 h
		2,9-157,1 (c)	17,9-192,7	1 settimana
PM _{2,5}		25,1-65,7 (e)		20 min
		5-199 (f)		13-16 h
		24-141 (g)		30 min <i>outdoor</i> , 3-4 h <i>indoor</i>
	47-67 e 50-76			48 h
	24-31	21-28 (a)		24 h
	42,7	59,0 (a)		48 h
PM ₁₀		57-153 (d)		13-16 h
		28-47 (a)		24 h

* i valori di concentrazione espressi nel paper originale in ppb, ppm o mg/m³ sono stati convertiti in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, assumendo di essere in condizioni standard (T = 25°C, P = 1 atm)

** i valori di concentrazione riportati nella tabella sono mediati rispetto al tempo di misura

(a) uffici

(b) uffici, scuole, ecc.

(c) edifici pubblici (municipi, palazzi delle corporazioni)

(d) farmacie, edicole, centri copie, bar, ristoranti, biblioteche, palestre, supermercati, uffici, saloni di bellezza

(e) bar, fast food, ristoranti, sale giochi, pub; i valori si riferiscono a 12 mesi dopo l'entrata in vigore del divieto di fumo nei locali pubblici (2005)

(f) negozi e bar; i valori si riferiscono a 12 mesi dopo l'entrata in vigore del divieto di fumo nei locali pubblici (2005)

(g) ristoranti; i valori si riferiscono ai mesi di gennaio/febbraio 2005, immediatamente successivi all'entrata in vigore del divieto di fumo nei locali pubblici

Valori al di sopra delle soglie di riferimento per l'aria *indoor*, dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel 2010 e del Ministero della Sanità nel 1983, si riscontrano per la formaldeide (CH_2O) e per il benzene (C_6H_6). Valori elevati rispetto alla normativa italiana per l'*outdoor* si osservano anche nel caso del particolato ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10}).

Contributo dell'inquinamento dell'aria ambiente alla qualità dell'aria *indoor*

Partendo dall'evidenza che l'esposizione umana agli inquinanti atmosferici in ambienti confinati è regolata dall'efficienza di penetrazione e dalla velocità di scambio dell'aria tra interno ed esterno che varia con le caratteristiche degli ambienti e con le condizioni climatiche, l'ISPRA in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha effettuato uno studio sui fattori di infiltrazione *indoor/outdoor* dell'aerosol a Roma. Lo studio è basato su una campagna di misura in tre siti di Roma, una settimana al mese per un anno, in modo da apprezzare le differenze stagionali. Utilizzando contatori di particelle a condensazione sono state realizzate misure di concentrazione numerica delle particelle sospese con diametro compreso tra 0,02 e 1 μm (tempo di campionamento: 1 minuto) all'interno e all'esterno di due abitazioni private e in un terzo sito, preso come riferimento, presso l'ISS. È stata poi realizzata una serie di misure parallele di concentrazione numerica delle particelle e concentrazione di massa di $\text{PM}_{2,5}$ (fotometro laser, light-scattering) all'interno delle abitazioni, con la stessa risoluzione temporale, allo scopo di indagare come le dinamiche di scambio dell'aria, coagulazione e interazione con le superfici dell'aerosol influenzassero, nei diversi ambienti, i valori rilevati. Le concentrazioni *indoor* e *outdoor* così determinate sono state messe a confronto con i dati raccolti dalle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria della rete di Roma e, allo scopo di valutare l'influenza sui livelli registrati della stabilità atmosferica, con i dati di radioattività naturale misurati nella stazione CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) di Montelibretti. I diversi fattori di infiltrazione sono stati calcolati in base al rapporto tra concentrazione numerica di particelle interna meno la concentrazione dovuta a sorgenti interne e la concentrazione esterna. Individuando e quantificando i contributi interni (fumo, cucina) è stato possibile stimare quale sarebbe stato il profilo temporale delle concentrazioni in assenza di questi ultimi. Lo studio ha così potuto mettere in evidenza andamenti stagionali altrimenti invisibili, poiché le diverse dinamiche di ricambio d'aria nelle stagioni condizionano l'ingresso di particolato esterno, ma anche la velocità di diluizione di quello internamente generato.

I risultati dello studio sono stati presentati nell'ambito della *European Aerosol Conference* 2011 (15) e più recentemente al Quinto Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico (16).

Variabilità dell'esposizione in funzione dell'attività e dei luoghi frequentati

Un aspetto di incertezza nella valutazione di impatto sanitario è rappresentato dai metodi di valutazione dell'esposizione, soprattutto di medio e lungo periodo. Infatti, quale surrogato dell'esposizione di popolazioni residenti su vaste aree territoriali, vengono generalmente utilizzati i livelli di concentrazione misurati da un numero esiguo di stazioni di monitoraggio. Diversamente, molti degli inquinanti esibiscono, in area urbana, ampi gradienti spaziali e temporali e studi di esposizione personale dimostrano che solo una piccola quota della varianza dell'esposizione personale può essere spiegata dai dati di monitoraggio di stazioni fisse.

Negli ultimi anni i modelli *Land Use Regression* (LUR) sono stati diffusamente utilizzati per la stima della variabilità spaziale degli inquinanti atmosferici su scala locale, pervenendo all'individuazione di domini di concentrazione ad alta risoluzione.

I modelli LUR, partendo dalla concentrazione in punti di misura ben identificati e dalla conoscenza di variabili predittive, prevedono la stima della concentrazione dell'inquinante in altre locazioni diverse dai siti di campionamento in modo da coprire l'intera area da esaminare. I valori delle variabili predittive vengono inseriti come variabili indipendenti in un modello di regressione lineare multipla; la variabile dipendente è il valore di concentrazione dell'inquinante nel sito di campionamento. Tutte le variabili sono rese disponibili da sistemi di georeferenziazione (*Geographic Information System, GIS*). Una volta sviluppato, il modello può essere esteso a quelle aree dove non vi sono punti di monitoraggio.

Tale tecnica è stata inizialmente chiamata *regression mapping*; nome probabilmente più consono in quanto le variabili predittive utilizzate non sono solo rappresentative del *land use*. L'ISPRA ha avviato un'indagine conoscitiva basata su una review della letteratura (17), e alcune applicazioni a casi reali sono curate da ISPRA nell'ambito di progetti nazionali in corso (2, 3).

Le procedure di stima dell'esposizione ad inquinanti atmosferici possono essere affinate agendo sullo sviluppo e utilizzo di modelli che tengano conto non solo della variabilità spaziale e temporale dei livelli di contaminazione *outdoor*, ma anche della mobilità della popolazione nelle aree urbane e dei diversi microambienti *indoor* frequentati. In questo senso l'ISPRA sta pianificando specifiche campagne di monitoraggio "pilota" per la valutazione dell'esposizione all'interno di mezzi di trasporto pubblici e privati. Questi test saranno utili per strutturare nuove proposte di studi in cui la valutazione dell'esposizione sia basata su una completa analisi delle diverse sorgenti di variabilità (spaziali, temporali, comportamentali) attraverso l'integrazione dei diversi strumenti valutativi (18).

Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor

L'ISPRA è membro del Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor*, coordinato dall'ISS, fin dalla sua costituzione (2010) svolgendo un ruolo di cerniera con il Sistema delle Agenzie ambientali. In particolare ha partecipato alla realizzazione di una review sui massimi livelli accettabili di anidride carbonica (CO₂) e idrogeno solforato (H₂S) in ambienti *indoor-residenziali* (in pubblicazione); ha collaborato alla realizzazione del convegno Mamma Day 2012 realizzato da Federcasalinghe e incentrato sull'inquinamento *indoor*; è membro del sottogruppo ad hoc che ha realizzato il documento "Strategie di monitoraggio dei composti Organici volatili (COV) in ambiente *indoor*" (Rapporto ISTISAN 13/4).

Attività in tema di inquinamento indoor e rischi per la salute

Gruppo di lavoro a supporto della GARD-Italia, coordinato dal Ministero della Salute sul tema ambiente *indoor*-scuola e prevenzione delle malattie respiratorie e allergiche dei bambini. Nell'ambito dell'iniziativa GARD-Italia (GARD-I) coordinata dal Ministero della Salute che coinvolge i principali stakeholder delle malattie respiratorie, come le società scientifiche, le associazioni dei pazienti, le università, le istituzioni interessate, finalizzata all'elaborazione e applicazione di una strategia globale per contrastare le patologie respiratorie, sono state evidenziate varie aree d'azione, tra queste l'*indoor* scolastico. Su mandato della GARD-I è stato istituito il Gruppo di lavoro "per la prevenzione *indoor* nelle scuole", cui partecipa l'ISPRA, con il compito di elaborare documenti tecnici di supporto ad aree d'azione prioritarie preventive (*in progress*). In tema di *indoor* scuola si segnala inoltre che nella *Gazzetta Ufficiale* n. 9 del 13 gennaio 2011, sono state pubblicate le "Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio *indoor* per allergie e asma" approvate in Conferenza Stato Regioni che identificano in prima analisi i soggetti per l'attuazione, fra i quali è presente anche l'ISPRA.

Progetto SEARCH I e SEARCH II in tema di *indoor* scolastico e salute dei bambini

Il Progetto SEARCH I (*School Environment and Respiratory health of CHildren*) è stato coordinato dal REC-Ungheria (*Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe*) e promosso e finanziato dal nostro Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (<http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/SEARCH/>). Il Progetto è stato condotto contemporaneamente in 6 Paesi Paneuropei (Italia, Albania, Bosnia-Erzegovina, Serbia, Slovacchia, Ungheria), è iniziato nel 2005 e si è concluso nel 2009. In Italia il team di coordinamento è stato composto da rappresentanti del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e dell'ISPRA; per la valutazione della salute dei bambini dalla Fondazione Maugeri e per il monitoraggio ambientale dall'ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia). L'obiettivo del Progetto consisteva nell'indagare lo stato d'inquinamento nelle aule, le condizioni degli edifici scolastici e la salute respiratoria dei bambini. Sono stati eseguiti sopralluoghi e misurazioni dei principali inquinanti ambientali rilevanti per il rischio respiratorio e allergico, ovvero: PM₁₀, NO_x, aldeidi (tra cui la formaldeide) e i cosiddetti BTEX (benzene, etil-benzene, toluene e xileni). I risultati internazionali del Progetto sono stati presentati alla Conferenza dei Ministri di Ambiente e Salute dei 53 Paesi della Regione Europea dell'OMS tenutasi a Parma nel marzo 2010 ed hanno riguardato i monitoraggi ambientali di circa 60 scuole e 243 classi e la valutazione della salute respiratoria, attraverso questionari ed esami spirometrici, di oltre 5.000 ragazzi tra gli 11 e i 12 anni.

In Italia, il gruppo di lavoro nazionale "SEARCH Italia" ha contribuito all'iniziativa paneuropea del Progetto con esperti del Ministero dell'Ambiente, della Federazione Maugeri di Varese, dell'ISPRA e delle Agenzie Ambientali regionali di Emilia Romagna, Lazio, Lombardia, Piemonte, Sardegna, Sicilia, Federasma onlus. Il gruppo "SEARCH Italia" oltre a programmare, organizzare ed effettuare le indagini previste dal progetto, ha creato le basi per l'avvio di attività aventi l'obiettivo di costruire una informazione utile sia per dirigenti e personale scolastico che per le famiglie, specie per i genitori di bambini allergici e asmatici, al fine di mettere in atto comportamenti a tutela della salute attraverso azioni concrete. Il gruppo di lavoro "SEARCH Italia" ha quindi redatto una brochure informativa completa di allegati, in cui sono brevemente riassunti i dati delle indagini ambientali nelle scuole italiane e tutte le informazioni utili per una prevenzione attiva e consapevole.

Con il Progetto SEARCH II (2010-2013) si intende continuare l'analisi dei fattori di rischio presenti negli ambienti *indoor* nelle scuole d'Italia e di altri Paesi dell'Europa continentale partner del Progetto, con riferimento anche agli aspetti di comfort e gestione energetica delle scuole. Il Progetto in corso ha previsto l'estensione geografica dell'iniziativa ad altri paesi (Bielorussia, Ucraina, Kazakistan e Tagikistan), rispetto al SEARCH I. Per ogni paese saranno individuate 10 scuole, e saranno coinvolti circa 100 bambini per scuola, 1000 per ciascun paese. Lo scopo è indagare l'uso e il fabbisogno di energia e le caratteristiche strutturali proprie degli edifici scolastici, fattori che influiscono su variabili importanti per il benessere e il comfort quali temperatura e umidità. I risultati del Progetto saranno divulgati in Italia e all'interno della Conferenza internazionale di medio termine che sarà organizzata dall'OMS nel 2013.

Progetto ERA-ENVHEALTH

L'ISPRA è partner del Progetto ERA-ENVHEALTH (2008-2012) "Coordination of national environment and health research programmes – Environment and Health ERA-NET", iniziativa cofinanziata dalla Commissione Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro. Il progetto riunisce 19 partner di istituzioni deputate alla programmazione e al finanziamento di ricerca,

afferenti all'area Ambiente e Salute di 10 Paesi Europei ed è finalizzato a supportare lo sviluppo dell'Area di Ricerca Europea (*European Research Area*, ERA) e la costituzione di un Consorzio di istituzioni europee per la programmazione della ricerca Ambiente e Salute. Nell'ambito del progetto è stata affidata a l'ISPRA l'elaborazione di un report in tema di ambiente *indoor* e salute con particolare riferimento a una overview di attività di ricerca e iniziative istituzionali nei Paesi della UE. Il rapporto è in progress e verrà pubblicato anche sul sito italiano del Progetto ERAnet (http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/Progetto_ERA_ENVHEALTH).

Inquinamento *indoor* da radon

La radioattività è un fenomeno di origine sia naturale che artificiale, costantemente presente nell'ambiente in cui viviamo. È noto che, in assenza di incidenti in impianti nucleari, il maggior contributo alla dose totale ricevuta dalla popolazione derivi dalla radioattività naturale (19), di cui la maggior parte è causata dall'esposizione al radon. Questo gas naturale, prodotto dal decadimento radioattivo di elementi presenti nel nostro pianeta fin dalla sua origine (uranio), si disperde rapidamente nell'ambiente esterno, ma nei luoghi chiusi, abitazioni, case, scuole e ambienti di lavoro, si accumula raggiungendo, in alcuni casi, concentrazioni particolarmente elevate, fonti di rischio di tumore polmonare non trascurabile per la salute. L'esposizione al radon rappresenta la seconda causa di tumori polmonari dopo il fumo di sigaretta. In Italia la concentrazione media di radon *indoor* è pari a circa 70 Bq m^{-3} (20), valore superiore alla media dei dati disponibili in 29 Paesi europei pari a 59 Bq m^{-3} (21) e alla media dei dati disponibili a livello mondiale pari a circa 40 Bq m^{-3} . Recenti studi epidemiologici hanno evidenziato che l'eccesso di rischio di cancro al polmone per effetto di una esposizione al radon corrispondente ad una concentrazione media annuale di 100 Bq m^{-3} è pari a circa il 16%. Sulla base di queste valutazioni il radon nelle abitazioni rappresenta attualmente, in Europa, circa il 9% delle morti per cancro ai polmoni e il 2% di tutte le morti per cancro in Europa (21). Corrispondentemente in Italia si stima che, dei circa 31.000 casi di tumore ai polmoni che si registrano ogni anno, il 10% circa è attribuibile al radon.

Mappatura

Tra il 2003 e il 2007, l'ISPRA ha avviato un progetto finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nell'ambito della Legge 93/2001 ("Disposizioni in campo ambientale") dal titolo "Qualificazione delle metodologie per la misura delle concentrazioni di radon e per l'individuazione delle zone a maggiore probabilità di alte concentrazioni di radon". Questo progetto ha previsto l'esecuzione di un'indagine pilota sul territorio delle province di Roma e Viterbo, al fine di acquisire esperienza nella programmazione e nell'esecuzione di indagini volte ad individuare le aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon. Le misure sono state condotte con la collaborazione della Regione Lazio e dei Comuni e Province interessate, per un periodo di un anno, suddiviso in due semestri di misura, in circa 2.200 abitazioni dislocate in tutti i comuni nell'area in esame. Successivamente, la Regione Lazio, tenuto conto dell'indagine precedente, ha incaricato l'ARPA Lazio di effettuare la "mappatura radon" nelle province di Frosinone, Latina e Rieti al fine di coprire l'intera regione. Nel 2008, ARPA Lazio ha quindi stipulato con l'ISPRA una "Convenzione per il completamento delle indagini volte alla individuazione delle zone a maggiore probabilità di alte concentrazioni di attività di radon nella regione Lazio". La Convenzione ha trovato ragione in considerazione della volontà comune di completare la mappatura dell'intera regione, garantendo al tempo stesso una procedura omogenea. La

Convenzione, della durata di tre anni, ha visto l'esecuzione della misura della concentrazione di radon in circa 3.000 abitazioni dislocate nelle tre restanti province laziali per un periodo di un anno, suddiviso in due periodi di misura, sostanzialmente con lo stesso modus operandi dell'indagine precedente relativa alle province di Roma e Viterbo. Parallelamente sono state raccolte, tramite un questionario, informazioni sulla struttura degli edifici e sulle abitudini di vita degli occupanti, utili alla analisi e valutazione del fenomeno. I soggetti partecipanti al progetto sono stati l'ARPA Lazio, l'ISPRA e le amministrazioni comunali ricadenti nell'area in esame. Un importante contributo alla distribuzione, al ritiro dei rivelatori per la misura della concentrazione di radon presso le famiglie aderenti all'indagine e al riempimento del questionario è stato inoltre approntato dalla Croce Rossa Italiana (CRI).

Le due indagini hanno inoltre consentito, nel loro complesso, di informare tutte le 378 amministrazioni comunali della Regione Lazio e circa 18.000 famiglie coinvolte a vario titolo, sul problema dell'esposizione al radon. Infine, sono state effettuate misure in circa 5.300 abitazioni. Non essendo stati emanati criteri, direttive, linee guida o normative in genere su come classificare le aree in termini di probabilità di alte concentrazioni di radon, le elaborazioni cartografiche (mappe radon) sono state prodotte applicando metodologie utilizzate a livello internazionale consolidate (22). Si ritiene, comunque, che l'insieme dei dati prodotto sia ampiamente sufficiente da poter essere utilizzato per classificare il territorio qualunque siano i criteri che verranno adottati. È stata inoltre sviluppata, in collaborazione con "Sapienza" Università di Roma, una metodologia originale per la realizzazione delle mappe basata sulla tecnica geostatistica del *disjunctive kriging* (23). L'applicazione di tale metodologia ha alcuni vantaggi rispetto alle tecniche statistiche. Principalmente non richiede che la distribuzione dei dati di partenza sia log-normale, condizione necessaria, invece, per l'applicazione dei metodi statistici e spesso difficile da ottenere in maniera netta. La metodologia permette, inoltre, di generare mappe radon basate su stime puntuali della variabile rappresentata, fornendo una restituzione cartografica ad isolinee che meglio si adatta alla classificazione del territorio, ad esempio dal punto di vista della rappresentazione dei risultati sulla base dei limiti amministrativi comunali. La Figura 1 riporta due elaborazioni di classificazione del territorio della regione Lazio. La classificazione è fatta su criteri arbitrari in assenza di specifici criteri definiti da normative.

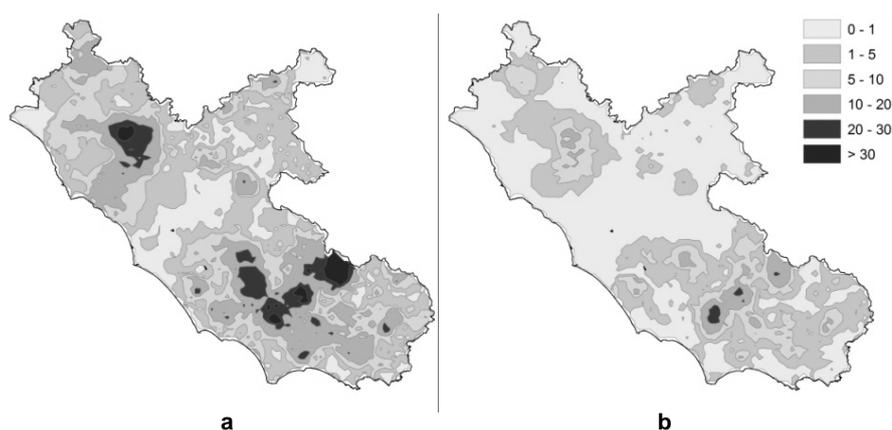


Figura 1. RADON: mappa del territorio della Regione Lazio secondo la stima della probabilità di eccedere il livello di 300 Bq m-3 (a) e il livello di 500 Bq m-3 (b)

European radon atlas

Molti Paesi europei hanno svolto nel tempo una serie di indagini finalizzate all'identificazione delle aree più o meno soggette al problema radon all'interno del proprio territorio nazionale. Nel 2005 il *Joint Research Centre* (JRC) della Commissione Europea (CE) ha pubblicato una panoramica di queste indagini evidenziando la disomogeneità delle tecniche di misurazione e delle strategie di mappatura applicate a livello europeo (24).

L'esigenza di confrontare i risultati delle indagini dei Paesi Membri e di integrare i dati in un quadro comune ha portato il JRC alla raccolta dei dati stessi e alla realizzazione di una mappa europea del radon *indoor* a partire da misure o stime della concentrazione di radon nei piani terra di edifici residenziali. L'ISPRA partecipa a tale progetto fornendo al JRC i dati raccolti ed elaborati secondo le specifiche definite dalla Commissione Europea, prodotti in Italia, in particolare dalle agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente. Si evidenzia che tale progetto restituisce una classificazione relativa al solo piano terra degli edifici e non è rappresentativo dell'intero universo degli edifici esistenti. In questo modo l'Italia è tra i 20 Paesi che hanno contribuito al progetto, con l'obiettivo, attraverso una copertura più estesa possibile dei dati, di realizzare un confronto tra i Paesi Membri (25).

Banca dati radon

Nell'ambito di una convenzione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, l'ISPRA ha pianificato un'attività che porterà allo sviluppo di una banca dati radon nazionale. Tale progetto verrà coordinato dall'ISPRA e sarà svolto con il supporto di soggetti competenti in materia (ISS e Agenzie Regionali per la protezione dell'Ambiente). L'obiettivo è la realizzazione di una banca dati nazionale sulle misure di concentrazione di radon *indoor* e delle informazioni correlate nell'ambito del Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA) con standard compatibili con quelli del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. La banca dati georeferenziata risiederà presso server di ISPRA e di ISS e i dati saranno accessibili da parte delle amministrazioni competenti e interessate via web.

Divulgazione

Rivolgendosi ad un vasto pubblico, l'ISPRA ha pubblicato online diverso materiale divulgativo e amplia continuamente la propria offerta informativa. In particolare va citato il sito web divulgativo sulla radioattività ambientale "Radioattività ambientale: radiazioni ionizzanti naturali e artificiali", che vuole porsi come fonte scientifica specializzata presso cui reperire informazioni chiare, complete e corrette sui principali aspetti concernenti le radiazioni ionizzanti. Nelle pagine del sito si trova una trattazione della problematica radon corredata di riferimenti normativi, implicazioni sanitarie, azioni di rimedio, suggerimenti bibliografici, link per l'approfondimento e molto altro.

Sul sito istituzionale dell'ISPRA è stata attiva fino al 2013 una semplice presentazione multimediale sul radon nella quale venivano trattati, in modo immediato ma efficace, i seguenti argomenti: che cos'è il radon, la catena di decadimento dell'uranio, gli effetti sulla salute, da dove viene, come si misura, la distribuzione del radon in Italia, i valori di riferimento, come difendersi negli ambienti confinati. Tale prodotto costituiva un'ulteriore testimonianza dell'importanza data da ISPRA ad una corretta informazione sui temi legati all'ambiente *indoor*.

Annuario dei dati ambientali ISPRA

All'interno dell'Annuario dei dati ambientali ISPRA, nella sezione Radiazioni ionizzanti, compare la descrizione dell'indicatore "Concentrazione di attività di radon *indoor*". Qualificato come indicatore di stato, esso fornisce la stima della concentrazione media di Rn-222 in aria negli ambienti residenziali ed è il parametro di base per valutare il rischio/impatto sulla popolazione. Nelle pagine dedicate a questo indicatore si possono trovare, oltre alle informazioni tecniche sull'elaborazione e utilizzo dell'indicatore stesso, anche informazioni relative allo stato di avanzamento della classificazione del territorio Italia e agli aspetti normativi nazionali e comunitari in materia di radon *indoor*.

Attività di laboratorio e programma di affidabilità delle misure

Al fine di contribuire ad un buono standard qualitativo delle misure in campo nazionale l'ISPRA, nei limiti delle risorse attribuite, promuove programmi di affidabilità dei laboratori attraverso l'organizzazione di interconfronti per i laboratori del sistema agenziale ARPA/APPA di strutture pubbliche (enti, università, ecc.).

A tale scopo si avvale della collaborazione di Istituti primari metrologici, in particolare dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle radiazioni ionizzanti INMRI dell'ENEA. Nel 2006 è stato organizzato il primo interconfronto nazionale per la misura della concentrazione di radon in aria con rivelatori passivi. All'interconfronto hanno partecipato 27 strutture pubbliche (ARPA, APPA, Università, ISPESL, ENEA) con 36 sistemi di misura. Nella Figura 2 sono riportate le deviazioni relative [D%] tra i risultati delle misure delle concentrazioni di radon dei partecipanti e il valore di riferimento dell'INMRI per una esposizione di 1938 KBq h m⁻³.

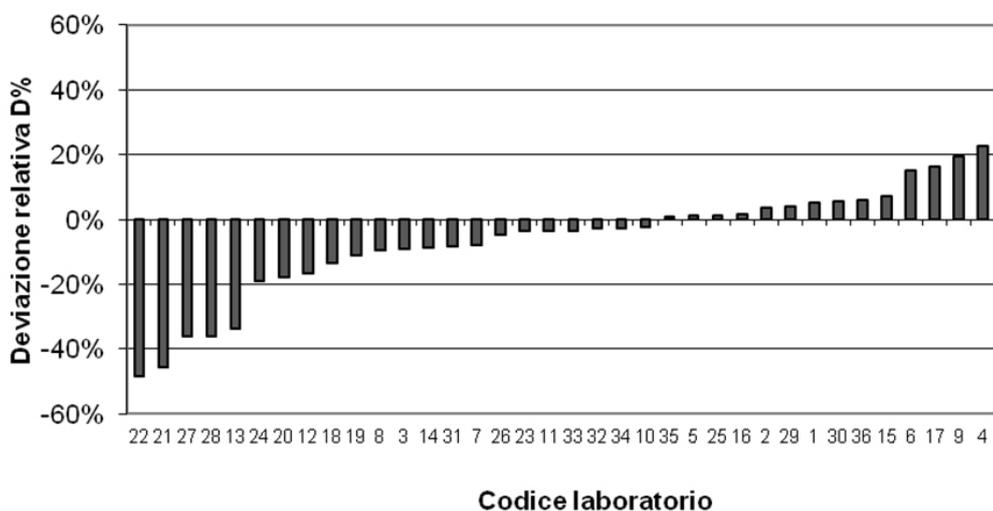


Figura 2. Deviazioni relative tra valore di riferimento dell'INMRI per una esposizione di 1938 KBq h m⁻³ e risultati di misure di concentrazioni di radon, dei laboratori partecipanti al primo interconfronto nazionale

Armonizzazione dei metodi di misura

L'armonizzazione dei metodi di misura per i parametri della qualità dell'aria ambiente è a uno stadio molto avanzato; infatti la normativa definisce i metodi EN di riferimento e gli obiettivi di qualità a cui la strumentazione deve rispondere al momento dell'installazione e durante il suo esercizio.

In questo quadro di riferimento, come definito dal DL.vo 155/2010, l'ISPRA ha predisposto una linea guida sulle procedure di assicurazione/controllo di qualità (QA/QC) per le misure della qualità dell'aria ambiente. Questa linea guida è attualmente in fase di completamento dopo essere stata sottoposta ai commenti delle ARPA/APPA partecipanti a un gruppo di lavoro istituito dal Consiglio Federale ISPRA/ARPA/APPA.

Alcune delle procedure di QA/QC valide per l'aria ambiente possono essere applicate anche alle misure *indoor*, come ad esempio l'effettuazione di confronti interlaboratorio effettuati esponendo la strumentazione di campionamento e misura per il PM₁₀ e/o il PM_{2,5} in un ambiente con variazioni di concentrazioni in massa di particolato inferiore all'incertezza obiettivo. L'ISPRA ha ormai una esperienza consolidata su tali confronti effettuati per le misurazioni in aria ambiente e l'applicazione agli ambienti *indoor* è senz'altro auspicabile.

Bibliografia

1. Dalla Rosa R. *Casa tossica – dalla cucina alla camera da letto – come difendersi dai veleni domestici*. Milano: Terre di mezzo editore; 2011.
2. Lepore A, Otero, G, Simeone MG, Ubaldi V. Un insieme di indicatori per il reporting ambientale dell'inquinamento *indoor*: primo esempio di applicazione per le otto principali aree metropolitane italiane. In: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. I Rapporto APAT*. Roma: APAT; 2004. p. 573-86.
3. Simeone MG, Lepore A, Ubaldi V, Cirillo MC. Un insieme di indicatori per il reporting ambientale dell'inquinamento *indoor*. In: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. II Rapporto APAT*. Roma: APAT; 2005. p. 621-36.
4. Simeone MG, Lepore A, Ubaldi V. Evidenze sperimentali e reporting ambientale per l'inquinamento *indoor*: casi studio e set di indicatori proxy. In: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. III Rapporto APAT*. Roma: APAT; 2006. p. 571-86.
5. Lepore A, Ubaldi V. Set di indicatori proxy per l'inquinamento *indoor*. In: Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. IV Rapporto APAT*. Roma: APAT; 2007. p. 103-8.
6. Lepore V, Brini S. Set di indicatori proxy per l'inquinamento *indoor*. In: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. VI Rapporto ISPRA*. Roma: ISPRA; 2009. p. 267-281.
7. Lepore A, Brini S. Inquinamento *indoor*. In: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ed.). *Qualità dell'Ambiente Urbano. VII Rapporto ISPRA*. Roma: ISPRA; 2010. p. 312-21.
8. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. *La percezione del rischio da inquinamento indoor – indagine in due municipi di Roma*. Roma: ISPRA; 2009. (Quaderni ISPRA, 1/2009).
9. Lepore A, Ubaldi V, Brini S. *Inquinamento indoor: aspetti generali e casi studio in Italia*. Roma: ISPRA; 2010. (Rapporto ISPRA 117/2010).

10. Fondelli MC, Bavazzano P, Grechi D, Gorini G, Miligi L, Marchese G, Cenni I, Scala D, Chellini E, Costantini AS. Benzene exposure in a sample of population residing in a district of Florence, Italy, *Sci Total Environ* 2008;392:41-9.
11. Bruinen De Bruin Y, Carrer P, Jantunen M, Hänninen O, Scotto Di Marco G, Kephelopoulos S, Cavallo D, Maroni M. Personal carbon monoxide exposure levels: contribution of local sources to exposures and microenvironment concentrations in Milan. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2004;14(4):312-22.
12. Carrer P, Maroni M, Alcini D, Cavallo D, Fustinoni S, Lovato L, Visigalli F. Assessment through environmental and biological measurements of total daily exposure to volatile organic compounds of officeworkers in Milan, Italy. *Indoor Air* 2000;10:258-68.
13. Simoni M, Biavati P, Carrozzi L, Viegi G, Paoletti P, Matteucci G, Ziliani GL, Ioannilli E, Sapigni T. The Po River Delta (North Italy) indoor epidemiological study: home characteristics, indoor pollutants, and subjects' daily activity pattern. *Indoor Air* 1998;8:70-9.
14. Simoni M, Carrozzi L, Baldacci S, Scognamiglio A, Di Pede F, Sapigni T, Viegi G. The Po River Delta (North Italy) indoor epidemiological study: effects of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. *Archives of Environmental Health* 2002;57(2):130-6.
15. Di Menno di Bucchianico A, Cattani G, Gaeta A, Gandolfo G, Caricchia AM, Inglessis M, Settimo G, Bruni B, Perrino C. Outdoor/indoor particle infiltration factor in Rome and its relation with urban air quality. In: *European Aerosol Conference, 4-9 settembre 2011, Manchester*.
16. Di Menno di Bucchianico A, Cattani G, Gaeta A, Gandolfo G, Caricchia A. M, Inglessis M, Settimo G, Bruni B, Perrino C. Fattori di infiltrazione indoor/outdoor dell'aerosol a Roma e loro relazione con la qualità dell'aria. In: *Quinto Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, 16-18 maggio 2012, Perugia*.
17. Serafini C. Inquinamento atmosferico generato da traffico veicolare: metodi per la stima delle concentrazioni di inquinanti finalizzata alla valutazione dell'esposizione della popolazione. Tesi di Stage. ISPRA, 2010.
18. Soggiu ME, Iavarone I, Cattani G, Esposizione delle popolazioni ad inquinanti in aree urbane. In: Caciolli S, Giovannangeli R, Musmeci L (Ed.). *Convegno Nazionale. Salute ed Ambiente in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 5-6 dicembre, 2011. Riassunti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2011 (ISTISAN Congressi 11/C9) p. 31.
19. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Effects of ionizing radiation. Volume I*. Vienna: UNSCEAR; 2008.
20. Bochicchio F, et al. Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian Regions. *Radiation Measurements* 2005;40:686-94.
21. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomáček L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 2005;330:223.
22. Miles J. Mapping the proportion of the housing stock exceeding a radon reference level. *Radiat Prot Dosimetry* 1994;56:207-10.
23. Raspa G, Salvi F, Torri G. Probability mapping of indoor radon-prone areas using disjunctive kriging. *Radiat Prot Dosimetry* 2010;138(1):3-19.
24. Dubois G. *An overview of radon surveys in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2005. (Report EUR 21892).
25. Tollefsen T, Gruber V, Bossew P, De Cort M. Status of the European indoor radon map. *Rad Prot Dosimetry* 2011;45(2-3):110-6.

QUALITÀ DELL'ARIA *INDOOR*: FATTORI DI RISCHIO BIOLOGICI

Lucia Bonadonna

Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Premessa

In questi ultimi anni, con l'aumento del numero di ore trascorso in ambienti confinati, è stato osservato un incremento del numero di segnalazioni di patologie che si manifestano soprattutto a carico dell'apparato respiratorio. Del resto l'attenuazione, in alcuni casi, della sintomatologia con interruzione dell'esposizione sembra non lasciare dubbi sull'esistenza di precise connessioni tra determinate componenti presenti negli ambienti e le patologie stesse.

Ormai da diversi anni una particolare attenzione è stata rivolta alla componente biologica presente e aerodispersa (bioaerosol) nell'ambiente e costituita da agenti biologici che possono causare processi infettivi o patogeni o provocare infezioni, allergie o intossicazioni (1).

Nello specifico, il bioaerosol è costituito da microrganismi, come cellule batteriche e di lieviti, spore di attinomiceti e funghi; virus; protozoi; insetti, acari, loro frammenti e loro escrementi; metaboliti e prodotti microbici come endotossine (lipopolisaccaridi), (1→3)-β-D-glucani e micotossine; proteine, enzimi, antigeni e allergeni; frammenti di piante.

La valutazione del rischio di esposizione ad agenti biologici risulta per alcuni versi difficile. Bisogna innanzitutto ricordare che in microbiologia non esiste il concetto di accumulo; se un soggetto è esposto ad una data concentrazione di microrganismi, questi non si sommeranno a quelli con cui è già venuto in contatto o con cui potrà venire in contatto successivamente. Piuttosto, in relazione alla presenza di uno specifico microrganismo o di un prodotto del suo metabolismo, si potrà avere, da parte del soggetto esposto, una risposta acuta (quindi la manifestazione della malattia) oppure una sensibilizzazione da cui potrà derivare una patologia a carattere immunologico.

Diversi sono gli effetti che possono produrre gli agenti biologici:

- effetti legati alla presenza di patogeni primari (virus, micobatteri, *Legionella*) e di patogeni opportunisti (gran parte dei microrganismi responsabili delle infezioni ospedaliere);
- effetti legati ad alterazioni della risposta immunitaria per esposizione ad allergeni;
- effetti tossicologici e di immunotossicosi, legati per lo più alla presenza di specie fungine che producono tossine (endotossine e micotossine).

Ogni tipo di risposta da parte del soggetto esposto dipende comunque da una ampia serie di fattori, e principalmente dalla sua suscettibilità e dalla capacità di virulenza dell'agente biologico responsabile.

Negli ambienti confinati si possono quindi trovare, a diverse concentrazioni, agenti biologici di varia natura. Il grado di esposizione differisce naturalmente in funzione dell'ambiente. In assenza di una fonte specifica, in ambienti confinati non contaminati, può essere presente una concentrazione di fondo che è stata valutata intorno a 104 organismi/m³ di aria. La presenza di umidificatori contaminati, d'altra parte, può aumentare il livello di esposizione di 10-100 volte (2).

Caratteristiche degli agenti biologici

Gli agenti biologici possono essere diffusi nell'ambiente sotto forma di singole particelle, ma più spesso adesi e trasportati da substrati che agiscono anche come agenti protettivi. Infatti il particolato biologico è molto sensibile alle condizioni ambientali e ha scarsa capacità di sopravvivere nell'aria in uno stato vitale. Bisogna comunque sempre tenere presente che caratteristiche diverse sono quelle che distinguono, da una parte, gli agenti biologici costituiti da particelle (batteri, virus), dall'altra, quelli costituiti da prodotti metabolici, quali endotossine, micotossine e allergeni.

Le dimensioni delle particelle biologiche sono molto variabili oscillando da 50-100 μm per i pollini, a circa 10 μm per le spore, per arrivare a valori molto inferiori a 0,1 μm per i virus.

Generalmente, nell'aria degli ambienti confinati le concentrazioni di microrganismi risultano maggiori di quelle dell'aria esterna, sia per la mancata diluizione dovuta alla ventilazione naturale, sia per il ricircolo delle polveri, per il limitato o assente irraggiamento solare diretto e per la presenza e l'affollamento di persone. Soprattutto in alcune stagioni, correnti d'aria, umidità e temperatura possono favorire l'entrata dall'esterno di funghi e pollini.

La presenza di agenti biologici negli ambienti confinati può quindi essere legata ad una serie di fattori che possono comprendere:

- il numero di individui presenti;
- l'attività svolta;
- le condizioni ambientali;
- la presenza di una fonte di diffusione legata a una contaminazione.

Nella contaminazione microbica degli ambienti confinati intervengono, oltre a fattori statici quali lo stato di manutenzione e l'igiene dei locali, fattori di natura dinamica, quali il movimento delle persone e la modalità di ventilazione.

Bisogna comunque considerare che la più comune fonte di microrganismi in un ambiente *indoor* è il corpo umano: le concentrazioni microbiche possono essere molto elevate in funzione delle diverse zone del corpo, come anche gli abiti possono rappresentare un serbatoio e diffusione di organismi. Comunque, sono soprattutto gli atti del parlare, starnutire e tossire le maggiori fonti di diffusione microbica nell'aria all'interno dei locali. Con uno starnuto, per esempio, possono essere emesse nell'aria circa 10⁶ particelle e goccioline che trasportano, adesi, milioni di microrganismi. In questo modo si diffondono e si trasmettono, soprattutto negli ambienti confinati, i comuni virus del raffreddore, dell'influenza, come anche i micobatteri tubercolari.

Anche l'attività svolta *indoor* ha effetto sulla diffusione di agenti biologici. In ambienti diversi si osservano generalmente caratteristiche biologiche e concentrazioni quali-quantitative diverse. Ad esempio, in aree di produzione di taluni alimenti, dove esiste elevata umidità relativa e delle superfici dei locali (pavimenti compresi), nonché presenza di veloci correnti d'aria, si manifesta un livello non trascurabile di carica microbica ambientale e si può riscontrare una selezione di microflora alofila, con possibile creazione di un ciclo alimento-ambiente.

Condizioni ambientali che influenzano la qualità *indoor*

Le condizioni ambientali influenzano fortemente la presenza, il trasporto e la diffusione degli agenti biologici negli ambienti *indoor*. Correnti d'aria, valori elevati di umidità relativa, temperatura, fonti di carbonio permettono al particolato biologico di diffondersi e, in condizioni idonee, anche di moltiplicarsi. Questo può verificarsi quando nell'ambiente si trovano condizioni favorevoli alla sopravvivenza e alla proliferazione delle particelle biologiche.

Ovunque vi siano perdite e stagnamento di acqua esiste la possibilità che si creino condizioni favorevoli all'amplificazione dei fenomeni biologici con conseguente aumento delle concentrazioni microbiche, soprattutto se accompagnate da scarsa ventilazione e ricambio di aria.

Impianti di ventilazione e condizionamento, umidificatori, se non sottoposti a periodica pulizia e manutenzione, possono diventare sedi di bioaccumulo e contaminazione per gli ambienti. A ciò si aggiunge che una maggiore tenuta degli infissi esterni di moderna concezione può determinare una riduzione della ventilazione naturale con conseguente rischio di accumulo di inquinanti anche di natura biologica.

La trasmissione per contaminazione dell'aria a partire da strutture e apparecchiature presenti negli ambienti è stata ampiamente dimostrata per le infezioni da *Legionella*. Il microrganismo, che ha il suo habitat naturale nelle acque, è frequentemente rilevato negli impianti idraulici dell'acqua potabile, sia calda che fredda e viene diffuso dall'aerosol di docce, rubinetti, idromassaggi, fontane, oppure dall'aria forzata proveniente dai sistemi di climatizzazione. Sopravvive nell'acqua sterile per mesi anche se la sua vitalità è comunque favorita dalla presenza di altra flora microbica; è in grado di moltiplicarsi sulla superficie delle tubature incrostate da depositi calcarei o corrose, dove si formino ristagni di acqua e all'interno di amebe in cui trova un substrato per la crescita e una protezione contro condizioni ambientali avverse e agenti disinfettanti. L'infezione avviene principalmente per via respiratoria, mediante inalazione o microaspirazione di goccioline o particelle di polvere umida e il rischio di acquisire la malattia è prevalentemente correlato alla suscettibilità del soggetto esposto (fattori predisponenti la malattia sono l'età avanzata, il fumo di tabacco, la presenza di malattie croniche e l'immunodeficienza) e all'intensità di esposizione (virulenza, carica batterica infettante e tempo di esposizione) (3). L'infezione può dar luogo a due distinti quadri clinici, la febbre di Pontiac e la malattia dei legionari. *Legionella* è considerata responsabile di gran parte delle malattie infettive respiratorie in ambienti ospedalieri e di comunità (4).

In Tabella 1 sono elencate, per tipologia di ambiente, le fonti di diffusione di agenti biologici e le patologie infettive, tossinfettive, tossigene e/o allergiche correlate.

Tabella 1. Agenti biologici presenti in diversi tipi di ambienti confinati e patologie indotte

Focolai di contaminazione	Agente biologico	Patologie indotte
Industrie alimentari Esercizi di vendita	Miceti (<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i>)	Reazioni di ipersensibilità, asma bronchiale, alveoliti allergiche, rinite allergica, alterazioni cutanee
	Attinomiceti (<i>Thermoactinomyces sacchari</i> , <i>T. vulgaris</i> , <i>Micropolyspora faeni</i> , <i>Thermospora alba</i> , <i>Saccaromonospora viridis</i> , <i>T. fusca</i> , <i>T. sacchari</i>)	Pneumopatia del contadino, alveoliti allergiche
Uomo (bioaerosol: tosse, starnuti, fonazione)	Batteri, virus	Bagassosi, stati influenzali, pertosse, malattie esantematiche, tubercolosi
Impianti di condizionamento	Batteri, funghi, <i>L. pneumophila</i>	Irritazione delle vie respiratorie, polmoniti, tosse, cefalea, malessere, nausea, sintomi respiratori
Umidificatori	Endotossine, batteri, <i>L. pneumophila</i> , <i>Pseudomonas</i> spp., funghi, <i>T. vulgaris</i>	Polmoniti, reazioni allergiche, asma bronchiale
Materiali da costruzione, arredamento (carta da parati, tappeti, moquette)	Funghi, <i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Stachybotris atra</i> , batteri	Reazioni di ipersensibilità, asma bronchiale, alveoliti allergiche, rinite allergica, alterazioni cutanee

Metodi di monitoraggio degli agenti biologici

La valutazione del rischio di esposizione ad agenti biologici risulta complessa. Difatti, è complicata la stima della qualità microbiologica dell'aria e la misura dei livelli di concentrazione microbica determinata tramite controlli di monitoraggio ambientale.

Le indagini di monitoraggio ambientale sono, infatti, influenzate da una oggettiva complessità legata alla mancanza sia di adeguati studi epidemiologici, sia di standardizzazione delle metodologie di campionamento e analisi. È comunque difficile anche l'interpretazione dei dati ricavati dai monitoraggi; generalmente, non sono stabiliti limiti di esposizione e, per la gran parte degli agenti biologici aerodispersi non è conosciuta la relazione dose-risposta.

Pertanto, poiché le relazioni che intercorrono tra la dose infettante e la risposta dell'ospite non sono ancora ben note, non è stato possibile ancora definire livelli di esposizione e contaminazione accettabili ai fini sanitari. Infatti, i valori limite delle concentrazioni microbiche nell'aria sono di difficile definizione, sia perché il bioaerosol è un complesso eterogeneo di particelle biologiche aerodisperse, diversamente sensibili ai fattori ambientali, sia perché la possibilità del loro rilevamento dipende anche dai metodi di raccolta e di analisi, sia perché la risposta da parte dei soggetti su cui il rischio è misurato dipende dall'agente infettante e dalla suscettibilità individuale.

In generale, il campionamento di queste particelle è basato sugli stessi principi che regolano il campionamento delle particelle aerodisperse non biologiche. Tuttavia l'esigenza di assicurare la sopravvivenza o l'attività biologica del bioaerosol durante e dopo il prelievo rende il campionamento diverso da quello usato nel caso delle particelle fisiche. Inoltre, la manipolazione e la conservazione del campione, così come l'analisi, presentano considerevoli differenze rispetto a quanto avviene per le particelle non biologiche.

Il bioaerosol possiede specifiche caratteristiche che influenzano il suo campionamento considerando che diverse sono le forme in cui possono essere ritrovate nell'aria:

- singole spore, cisti, grani di polline, cellule batteriche in forma vegetativa o virus;
- aggregati di diverse spore o cellule;
- frammenti di spore o cellule o prodotti del loro metabolismo;
- materiali biologici trasportati da particelle non biologiche.

Diversi tipi di bioaerosol, come spore fungine e pollini, sono destinati per natura al trasporto aereo e possono rimanere vitali durante i trasferimenti nell'ambiente (5). Quando queste particelle vengono trasportate da altro materiale oppure sono presenti come aggregati, la loro migrazione e deposizione dipende dalla dimensione complessiva dell'intera unità aerodispersa. Il bioaerosol può essere più o meno resistente allo stress ambientale determinato da fattori fisici e chimici, come la luce ultravioletta, le basse temperature, il calore, la disidratazione, e i gas tossici, nonché da fattori meccanici del campionamento stesso.

Le cellule vegetative batteriche procariote sono invece più facilmente danneggiate e la loro vitalità può essere compromessa in modo più significativo dai fattori ambientali e dal processo di campionamento.

Molti batteri diffusi dal corpo umano sono trasportati su scaglie di pelle. Probabilmente alcuni di essi restano vitali durante la loro residenza in aria in quanto adattati alle condizioni di disidratazione e protetti dal substrato di origine. Le cellule microbiche vitali sono capaci di riprodursi e svolgono un'attività metabolica, quelle non vitali non sono in grado di moltiplicarsi, ma, nel caso dei patogeni, possono ancora conservare le loro capacità di virulenza. Infatti, le endotossine batteriche, lipopolisaccaridi specifici della parete cellulare dei batteri gram-negativi, possono ritrovarsi nell'aria e, in quanto resistenti e stabili, mantenere la loro attività biologica anche dopo la cessazione della vitalità delle cellule batteriche. Le cellule vegetative batteriche, più sensibili ai fattori ambientali – generalmente, di dimensioni comprese tra 0,1 e 5

μm – di forma sferica o allungata, a spirale o filamentosa, si ritrovano più spesso come aggregati di due o più unità, anche concatenate. Diversamente, i miceti, organismi eucarioti ubiquitari e maggiori responsabili del decadimento aerobico dei materiali organici naturali, sono molto resistenti agli stress ambientali. La sporulazione costituisce il modo primario di disseminazione per questi organismi e le loro spore hanno caratteristiche atte al trasporto aereo. Le loro dimensioni, comprese tra 1 e 100 μm , consentono il trasporto a lunga distanza. Caratteristiche diverse presentano i virus che, quali parassiti endocellulari, differiscono dagli altri agenti biologici in quanto si riproducono solo all'interno di cellule ospiti. Tuttavia, possono essere trasmessi attraverso l'aria anche in assenza di cellule ospiti, e quindi viaggiare trasportati, ad esempio, dalle goccioline prodotte dalle secrezioni respiratorie.

La concentrazione di bioaerosol nell'aria *indoor* presenta variazioni temporali di diversi ordini di grandezza. Se concentrazioni dell'ordine di 101-103 UFC/m³ sono state rilevate in residenze e ambienti lavorativi con sorgenti moderate, concentrazioni più modeste, dell'ordine di circa 102 UFC/m³, sono state misurate in ambienti ben ventilati, in assenza di sorgenti di rilievo. Livelli più alti con punte di concentrazione variabili da 104 a 1010 UFC/m³ sono stati riscontrati in specifici ambienti di lavoro o in abitazioni o uffici seriamente contaminati (6). In molte di queste situazioni le concentrazioni variavano considerevolmente nello spazio e nel tempo, e ciò poteva essere dovuto in parte anche al fatto che le sorgenti comunque non generano bioaerosol in modo continuo.

Nonostante la crescente attenzione rivolta ai problemi di campionamento, determinazione e quantificazione dei microrganismi presenti nell'aria, risulta difficile individuare metodi di monitoraggio che risultino idonei in ogni occasione di controllo. Infatti, è necessario disporre di metodologie di analisi appropriate anche in funzione delle diverse procedure di campionamento e dei parametri che si vanno a ricercare (batteri, miceti, lieviti, virus, endotossine, ecc.).

L'individuazione di una metodica analitica deve innanzitutto mirare alla efficienza, alla sensibilità del metodo e alla rapidità del risultato. L'ottenimento di risultati più attendibili e completi potrebbe essere raggiunto con l'uso di tecniche analitiche utilizzate in parallelo al fine di ottenere un quadro più rispondente possibile alle reali condizioni ambientali. Tuttavia, problemi di tipo organizzativo ed economico non rendono questa opzione applicabile.

D'altra parte, per elaborare standard quantitativi e linee-guida per i diversi tipi di bioaerosol, sono necessari protocolli standardizzati di campionamento, analisi e interpretazione dei dati (7). Date le difficoltà intrinseche di questo tipo di valutazioni, standard quantitativi, almeno per alcuni microrganismi, potrebbero essere elaborati sulla base della concentrazione di metaboliti o di proteine piuttosto che sul conteggio di cellule coltivabili.

Bibliografia

1. Bonadonna L, Marconi A. *Stato attuale e orientamento degli studi e delle ricerche sulla contaminazione biologica dell'aria degli ambienti chiusi (indoor)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1990 (Rapporti ISTISAN 90/14).
2. Directorate General for Science, Research and Development Joint Research Centre - Environment Institute. *Report n. 12. Biological Particles in Indoor Environments*. Luxembourg: Commission of the European Communities; 1993. (EUR 14988 EN).
3. Strampfer MJ, Cunha BA. Clinical and laboratory aspects of Legionnaire's disease. *Semin Respir Infect* 1987;2(4):228-34.
4. Carratalà J, Garcia-Vidal C. An update on *Legionella*. *Curr Opin Infect Dis* 2010;23(2):152-7.
5. Aisworth GC, Sparrow FK, Sussman AS. *The fungi*. New York and London: Academic Press, 1983.

6. Lacey J, Crook B. Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens. *Ann Occup Hyg* 1988;32:515-33.
7. Mandrioli P. Il monitoraggio aerobiologico: linee guida per una standardizzazione. In: Bartolucci G, Cottica D, Imbriani M (Ed.). *Atti del 15° Congresso Nazionale dell'AIDII*. Milano: Le Collane della Fondazione Salvatore Maugeri; 1996. p. 30-41

ALLERGENI NEGLI AMBIENTI *INDOOR*: L'ESPERIENZA DELL'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Patrizia Iacovacci, Barbara Brunetto, Raffaella Tinghino, Carlo Pini
Centro Nazionale per la Ricerca e la Valutazione dei prodotti Immunobiologici, Istituto Superiore di Sanità,
Roma

Introduzione

L'esposizione agli allergeni *indoor* può verificarsi sia nei luoghi pubblici (scuole, uffici e mezzi di trasporto) che nelle abitazioni. È stato ormai ampiamente dimostrato che le patologie respiratorie allergiche, quali ad esempio l'asma, sono il risultato dell'interazione tra la predisposizione genetica dell'individuo e l'esposizione ambientale. Inoltre esiste l'evidenza di una relazione dose risposta tra l'esposizione ambientale ad alcuni allergeni *indoor* e la sensibilizzazione (presenza di anticorpi IgE specifici), nonché tra l'esposizione ambientale e lo scatenamento della sintomatologia allergica negli individui già sensibilizzati.

Le fonti allergeniche *indoor* più comuni sono rappresentate da acari (*Dermatophagoides pteronyssinus* e *Dermatophagoides farinae*), mammiferi (in particolare derivati epidermici animali di *Felis domesticus* e *Canis familiaris*), scarafaggi (*Blattella germanica* e *Periplaneta americana*), miceti (*Aspergillus* spp, *Penicillium* spp, *Alternaria* spp).

Nel 3rd *International Workshop on Indoor Allergen and Asthma* (1), per alcuni allergeni sono stati definiti dei valori soglia di esposizione ambientale per lo sviluppo di una sensibilizzazione allergica e per lo scatenamento dei sintomi nei pazienti già sensibilizzati. Per quanto riguarda gli allergeni maggiori degli acari, Der p 1 e Der f 1, tali valori corrispondono a 2 µg di allergene per grammo di polvere (sensibilizzazione) e 10 µg di allergene per grammo di polvere (scatenamento dei sintomi). Valori simili (sensibilizzazione: 1-2 µg/g e sviluppo dei sintomi: 8-10 µg/g) sono stati proposti anche per l'allergene del gatto Fel d 1 e del cane Can f 1, altre importanti molecole allergeniche presenti nella polvere (2).

L'acquisizione di informazioni sull'esposizione agli allergeni *indoor* è di notevole utilità per almeno due ragioni: in primo luogo permette di valutare i fattori di rischio per la sensibilizzazione e/o lo scatenamento dei sintomi e in secondo luogo permette di indirizzare correttamente il problema della riduzione dell'esposizione agli allergeni.

In questo contesto un gran numero di studi sono stati condotti al fine di valutare il livello degli allergeni *indoor* negli ambienti pubblici e privati nonché la correlazione della loro concentrazione con lo scatenamento dei sintomi nei pazienti. In particolare una serie di studi sono stati effettuati anche dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) allo scopo di mettere a punto metodiche di campionamento e di analisi standardizzate e di ottenere informazioni sulla presenza degli allergeni *indoor* in scuole, uffici e abitazioni. Infatti, l'applicazione di procedure rigorose e standardizzate che vanno dalla raccolta del campione fino al dosaggio dei singoli allergeni costituisce un aspetto di primaria importanza.

Ad oggi sono disponibili in commercio una serie di kit ELISA standardizzati che si avvalgono dell'utilizzo di anticorpi monoclonali per il dosaggio di alcuni degli allergeni più diffusi: Der f 1, Der p 1, Mite group 2, Blo t 5 (acari); Fel d 1, Can f 1, Rat n 1, Mus m 1 (mammiferi); Bla g 1, Bla g 2 (blatte); Asp f 1, Alt a 1 (muffe). Inoltre, la concomitante disponibilità di appositi filtri per il campionamento è di notevole ausilio al fine della standardizzazione di tutto il processo. Ovviamente l'analisi del rapporto tra l'esposizione

ambientale agli allergeni e la sensibilizzazione è molto complessa poiché non è facile stabilire ove avviene la sensibilizzazione e quali concentrazioni di allergeni possono indurre la sensibilizzazione, dal momento che un individuo difficilmente permane tutto il giorno nello stesso ambiente *indoor*. È invece più facile valutare se la carica allergenica presente nel luogo in esame può essere causa dello scatenamento dei sintomi e/o esacerbazione della patologia allergica.

Si riporta una breve descrizione degli allergeni *indoor* più importanti e, a seguire, una breve descrizione degli studi in corso presso l'ISS nell'ambito di tale problematica.

Allergeni *indoor*

Gli allergeni *indoor* responsabili delle patologie allergiche possono essere definiti “perenni” in quanto presenti tutto l'anno, con concentrazioni più o meno variabili. Le fonti allergeniche *indoor* più comuni sono rappresentate da acari, scarafaggi, mammiferi e miceti.

Acari

Tra gli acari le specie maggiormente rappresentate nell'ambiente e di conseguenza maggiormente studiate sono il *Dermatophagoides pteronyssinus* e il *Dermatophagoides farinae*. Una notevole concentrazione di acari, insieme alle loro spoglie ed escrementi, è stata riscontrata nelle case e in particolare in materassi, poltrone, tappeti e altre suppellettili domestiche, ma anche in ambienti pubblici. Gli allergeni maggiori delle specie *D. pteronyssinus* e *D. farinae* sono rappresentati da Der p 1 e Der f 1, glicoproteine presenti soprattutto nelle feci, e da Der p 2 e Der f 2, estratte dal corpo dell'acaro. Per quanto riguarda i valori soglia di esposizione, sono a tutt'oggi ritenuti validi i limiti stabiliti nell'ambito del 3rd *International Workshop on Indoor Allergens and Asthma* e, cioè, 2 µg/g di Der p 1 o Der f 1 (valore teorico soglia per la sensibilizzazione allergica) e 10 µg/g (valore soglia per l'insorgenza di attacchi acuti di asma (1)).

Scarafaggi

Le specie di blatte ad oggi più studiate sono la *Blattella germanica* e la *Periplaneta americana*. Le blatte sono ritenute responsabili di asma in forma severa, caratterizzata da elevati livelli di IgE. La diagnosi da allergia alle blatte può essere influenzata dalla qualità non elevata degli estratti, che spesso presentano problemi di stabilità. Anche per tale ragione molti degli allergeni delle blatte sono stati clonati e caratterizzati. Sono stati inoltre sviluppati anticorpi monoclonali specifici per i singoli allergeni i quali sono attualmente utilizzati per caratterizzare gli estratti usati in diagnosi, per standardizzare le varie preparazioni e per identificare e quantizzare (mediante opportuni saggi ELISA) il livello di contaminazione ambientale dovuto alla presenza degli allergeni anche in apparente assenza dell'insetto.

Mammiferi

Le due principali fonti di allergeni sono rappresentate dal *Felis domesticus* e dal *Canis familiaris*. Il Fel d 1, l'allergene maggiore del gatto (*Felis domesticus*), si è rivelato tra i più potenti allergeni responsabili di attacchi acuti di asma. Anche in questo caso sono stati stabiliti dei valori soglia corrispondenti a 1 µg di allergene Fel d 1 per grammo di polvere (1 µg/g) per la

sensibilizzazione allergica e a 8 µg/g per lo scatenamento dei sintomi (2). Il Fel d 1 viene prodotto dalle ghiandole sebacee e dalle cellule epiteliali squamose del gatto, si accumula sui peli del gatto e può aderire facilmente al vestiario, in questo modo può essere facilmente trasportato dall'uomo anche in ambienti in cui il gatto non è presente. Quanto riportato per il Fel d 1 è valido anche per l'allergene maggiore del cane (*Canis familiaris*), il Can f 1, anche se attualmente sono disponibili meno informazioni poiché il saggio ELISA per la misura quantitativa dell'allergene maggiore è presente sul mercato da pochi anni.

Miceti

Tra i miceti l'*Alternaria* spp e il *Cladosporium* spp presentano un andamento prevalentemente stagionale, sono ubiquitari sul terreno insieme a altri miceti minori. Negli ambienti *indoor* di grande rilievo è l'*Aspergillus* spp. Anche in questo caso occorre segnalare che la patologia allergica è spesso di difficile diagnosi a causa della qualità non sempre ottimale delle preparazioni predisposte per la diagnosi stessa, effettuata mediante test cutanei.

Valutazione degli allergeni *indoor* in ambienti scolastici

Al fine di valutare al meglio la qualità dell'aria *indoor* sia da un punto di vista dei contaminanti chimici sia per quanto riguarda la presenza degli allergeni tipicamente *indoor*, è stato proposto al Ministero della Salute un progetto di ricerca approvato nel corso del 2010. Il progetto ha come titolo "Esposizione ad inquinanti *indoor*: linee guida per la valutazione dei fattori di rischio in ambiente scolastico e definizione delle misure per la tutela della salute respiratoria degli scolari e degli adolescenti (*Indoor-School*)" e si propone, in maniera molto ampia, di fornire dati utili all'implementazione delle linee guida sul controllo dei rischi dell'esposizione a una cattiva qualità dell'aria *indoor* per malattie respiratorie e allergiche nelle scuole primarie e secondarie di primo grado. In tale contesto è prevista la valutazione dell'esposizione agli inquinanti e la relazione con la salute nonché la definizione delle procedure di controllo di alcuni degli inquinanti. Tra le varie attività, quella relativa all'ISS prevede la "definizione di indicatori di qualità dell'aria interna e di salute e performance scolastica". Nell'ambito di tale obiettivo, tra le altre indagini, verranno condotte dall'ISS le misure ambientali per valutare la concentrazione degli allergeni nelle scuole.

In tale contesto l'attività che si andrà a sviluppare trova precedenti esperienze del gruppo proponente in alcuni studi precedentemente avviati sulla esposizione agli allergeni *indoor* sia nelle abitazioni che nei luoghi pubblici (scuole, uffici e laboratori).

In uno degli studi precedentemente avviati per valutare la concentrazione degli allergeni *indoor*, è stato messo a punto un protocollo per il monitoraggio di alcuni uffici e laboratori del nostro Istituto, nei quali, sia per le particolari condizioni microclimatiche, sia per la lunga permanenza dei lavoratori, si possono verificare situazioni di rischio molto simili a quelle domestiche, già ampiamente documentate in letteratura (3). Obiettivo principale è stato quello di effettuare un'analisi quantitativa degli allergeni Der p 1, Der f 1, Mite group 2, Fel d 1 nonché di alcuni allergeni del latex (Hev b 5 ed Hev b 6,02). I campioni di polvere sono stati raccolti in 24 laboratori e in 36 uffici. Da tale studio è emerso che l'allergene più diffuso è il Fel d 1, presente nel 58,3% degli uffici e nel 77,8% dei laboratori, con concentrazioni allergeniche molto alte, in alcuni casi ben al di sopra della soglia di sensibilizzazione e di scatenamento di sintomi (Tabella 1).

Tabella 1. Campioni (%) con livelli di allergeni rilevabili (campioni positivi) mediante metodo ELISA e media geometrica delle concentrazioni degli allergeni nei campioni positivi

Allergeni	Campioni da laboratori con allergeni rilevabili (N=24)	Media geometrica dei valori ottenuti nei laboratori (IC 95%)	Campioni da uffici con allergeni rilevabili (N=36)	Media geometrica dei valori ottenuti negli uffici (IC 95%)
Der f1	4,2%	7,90 µg/g	2,8%	1,43 µg/g
Der p1	4,2%	1,53 µg/g	2,8%	1,78 µg/g
Acari group2	8,3%	1,08 µg/g	5,5%	4,28 µg/g
Fel d1	58,3%	7,74 µg/g	77,8%	4,84 µg/g
Hev b5	50%	0,34 µg/g	22,2%	0,21 µg/g
Hev b6,02	87%	0,36 µg/g	38,9%	0,26 µg/g

N: numero di campioni esaminati
IC: Intervallo di Confidenza

Inoltre, mediante un modello di regressione logistica multivariata, è stato messo in evidenza che esiste un'associazione tra l'asma allergico (di cui i soggetti che lavorano in questi ambienti hanno dichiarato di soffrire) e l'esposizione all'allergene Fel d 1 (Tabella 2).

Tali dati ci hanno permesso di concludere che l'esposizione all'allergene maggiore del gatto può rappresentare un rischio per le persone che lavorano in questi ambienti.

In uno studio parallelo, i campioni sono stati analizzati per il contenuto di Der p 1, Der f 1, Mite group 2 (acari) e Fel d 1 (gatto) mediante saggi ELISA in campioni di polveri raccolti nelle scuole, nelle abitazioni e negli uffici (3).

Tabella 2. Risultati dell'analisi regressione logistica multivariata degli esiti derivanti dall'esposizione all'allergene Fel d 1

Covariate	Esiti											
	Sintomi			Rinocongiuntiviti			Orticaria			Asma		
	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value
Temperatura	1,53	1,03-2,27	0,04	1,05	0,71-1,56	0,80	2,52	1,29-4,94	0,01	0,99	0,56-1,75	0,97
Umidità relativa	1,07	0,95-1,21	0,28	1,10	0,98-1,24	0,12	0,98	0,81-1,19	0,85	0,81	0,64-1,03	0,09
Fumo	0,29	0,08-1,10	0,07	0,41	0,10-1,63	0,21	0,09	0,01-0,94	0,04	0,17	0,02-1,74	0,14
Età	1,08	1,00-1,17	0,06	1,07	0,99-1,16	0,10	1,18	1,03-1,35	0,01	1,23	1,04-1,45	0,01
Predisposizione familiare	7,83	1,97-31,18	<0,01	7,75	1,99-30,16	<0,01	3,97	0,59-26,83	0,16	10,61	1,45-77,65	0,02

segue

continua

Covariate	Esiti											
	Sintomi			Rinocongiuntiviti			Orticaria			Asma		
	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value	OR	IC 95%	p-value
Diagnosi precedente (Allergy test)	14,37	3,86-53,49	<0,01	12,90	3,14-53,03	<0,01	11,21	1,27-98,74	0,03	13,68	1,84-101,90	0,01
Hev b5 *	0,56	0,14-2,34	0,43	0,61	0,14-2,62	0,51	5,24	0,64-43,09	0,12	0,74	0,06-9,78	0,82
Hev b6 *	0,21	0,04-1,13	0,07	0,32	0,06-1,66	0,18	0,10	0,01-1,59	0,10	0,11	0,01-2,11	0,14
Fel d1*	1,14	0,29-4,50	0,86	0,56	0,13-2,39	0,43	7,39	0,74-74,01	0,09	40,05	1,38-1159,89	0,03
IgE specifico per acari	1,05	0,15-7,55	0,96	0,82	0,10-6,59	0,85	0,00	0,00-0,36	0,02	5,25	0,26-106,88	0,28
IgE specifico per epitelio e forfora di gatto	3,71	0,44-31,54	0,23	0,80	0,10-6,31	0,84	69,39	1,89-2542,50	0,02	0,28	0,02-3,38	0,31

OR: Odds-Ratio

IC: Intervallo di Confidenza

*esposizione all'allergene

In tale studio è emerso che nelle abitazioni, oltre al Fel d 1, sono presenti anche elevate concentrazioni di allergeni degli acari, probabilmente perché questa tipologia di ambiente presenta degli arredi (moquette, tende, tappeti ecc.) particolarmente adatti alla proliferazione di questi ultimi (Figura 1).

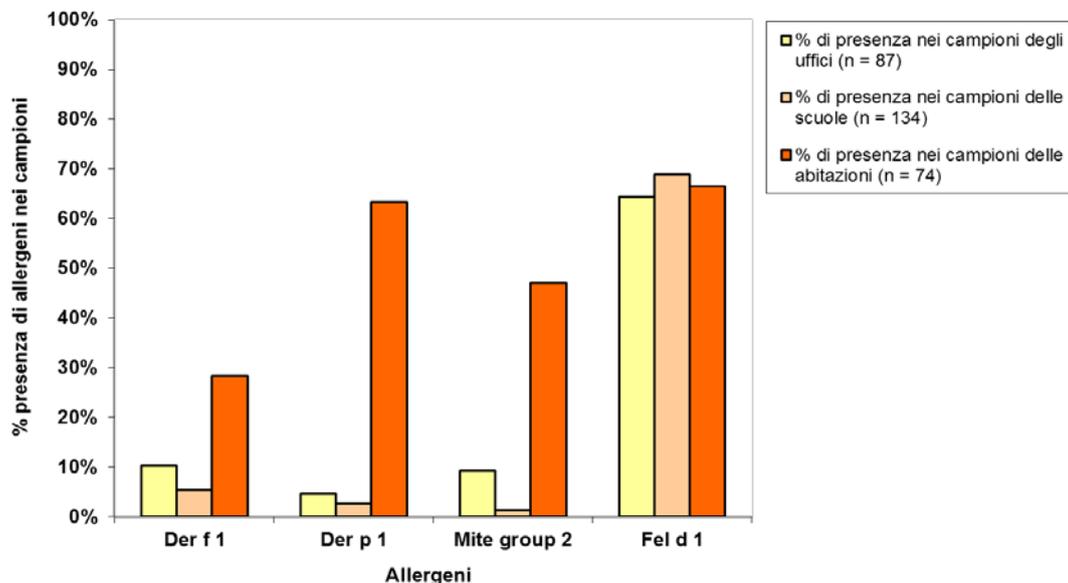


Figura 1. Distribuzione degli allergeni indagati nei campioni analizzati

In generale, gli allergeni degli acari sono stati riscontrati raramente nelle scuole e negli uffici, ma frequentemente nelle abitazioni. Fel d 1 è stato rilevato con elevata frequenza in ogni ambiente esaminato.

In conclusione, appare evidente che per ridurre il rischio di esposizione agli allergeni è strettamente necessaria una bonifica ambientale che introduca misure di controllo ambientali più specifiche e rigorose (4). Tali considerazioni costituiranno la base di partenza per sviluppare ulteriormente questa problematica nell'ambito del progetto CCM attualmente in fase di svolgimento.

Bibliografia

1. Platts-Mills TA, Vervloet D, Thomas WR *et al.* Indoor allergens and asthma: report of the Third International Workshop. *J Allergy Clin Immunol* 1997;100(6- Part 1):S2-S24.
2. Arbes SJ, Cohn RD, Yin M, Muilenberg ML, *et al.* Dog allergen (Can f1) and cat allergen (Fel d1) in US homes: results from the national survey of lead and allergen in housing. *J Allergy Clin Immunol* 2004;114:111-17.
3. Brunetto B, Brescianini S, Barletta B, Butteroni C, Rotondi D, Masciulli R, Malaguti Aliberti L, Pini C, Di Felice G, Iacovacci P. Exposure to *indoor* allergens and association with allergy symptoms of employees in a work environment. *Ann Ist Super Sanità* 2009;45(4):415-22.
4. Brunetto B, Barletta B, Brescianini S, Masciulli R, Perfetti L, Moscato G, Frusteri L, Schirru MA, Pini C, Di Felice G, Iacovacci P. Differences in the presence of allergens among several types of *indoor* environments. *Ann Ist Super Sanità* 2009;45(4):409-14.
5. Frusteri L, Iacovacci P, Novi C, *et al.* Allergeni di origine biologica: risultati preliminari di un confronto tra ambienti domestici e uffici. *G Ital Med Lav Erg* 2001; 23:3,351.

IMPATTO DELL'INQUINAMENTO *INDOOR*, GESTIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA *INDOOR* E PARAMETRI DI ACCETTABILITÀ

Luciana Indinnimeo, Annalisa di Coste

Dipartimento di Pediatria e NPI, Università degli studi di Roma "Sapienza", Roma

La normativa vigente definisce l'inquinamento come ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente, oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente (1).

Gli inquinanti atmosferici possono essere classificati in relazione alla provenienza, alla modalità di rilascio negli ambienti interni (*indoor*) o esterni (*outdoor*) e alla composizione chimica. Attualmente vengono classificati in: primari-secondari; *indoor-outdoor* (interni-esterni); e gassosi-particolati. Gli inquinanti primari sono direttamente emessi in atmosfera (SO₂; NO; CO; PM, *Particulate Matter*), quelli secondari, invece, si formano come risultato di reazioni chimiche con altri inquinanti o gas atmosferici (O₃, NO₂, alcuni particolati).

Gli inquinanti *indoor*, emessi da materiali da costruzione, impianti di condizionamento dell'aria, prodotti di consumo, cucina, riscaldamento, ecc., consistono in: Composti Organici Volatili (COV) (es. aldeidi, alcool, alcani e chetoni), agenti microbici, polveri organiche, radon, fibre vetrose artificiali, prodotti di combustione (es. fumo di tabacco e legno), CO e CO₂.

Gli inquinanti *outdoor* emessi da industrie, impianti energetici, inceneritori, attività commerciali, traffico autoveicolare, attività agricole e processi naturali, consistono in: SO₂, O₃, NO_x, CO, PM, COV, metalli, sabbia o polvere inorganica. Tra gli inquinanti gassosi rientrano SO₂, NO_x, O₃, CO e COV, mentre tra quelli particolati il PM inalabile (diametro aerodinamico <10 µm, PM₁₀), il PM fine (<2,5 µm, PM_{2,5}) e il PM ultrafine (<0,1 µm, PM_{0,1}) (2).

L'esposizione personale totale di un individuo ad un inquinante è data, in un certo arco di tempo, dalla concentrazione dell'inquinante misurata nella zona in cui l'aria viene respirata, quindi in prossimità delle narici e della bocca. Questa concentrazione varia con gli spostamenti dell'individuo e possiede una componente ambientale (determinata dalla somma degli inquinanti dell'ambiente esterno e degli inquinanti ambientali esterni filtrati all'interno degli edifici) e una componente non ambientale (determinata dalla somma degli inquinanti generati all'interno degli edifici, dalle attività personali dell'individuo e negli ambienti di lavoro). Il concetto di "esposizione totale" comprende sia le concentrazioni *outdoor* e *indoor* sia l'effettiva esposizione personale agli inquinanti (3).

L'entità dell'esposizione dell'uomo è importante sia per la valutazione dell'impatto di un inquinante sulla salute, sia per la gestione del rischio, che spesso mira (direttamente o indirettamente) alla riduzione dell'esposizione a livello di popolazione.

L'esposizione all'inquinamento *indoor* sta riscuotendo sempre più interesse. Infatti, come risulta da alcune indagini condotte a livello europeo, la popolazione di alcuni centri urbani trascorre in media il 95-97% del tempo negli ambienti confinati (oltre 20 ore al giorno, delle quali circa la metà nella propria abitazione); il 2,4% nei mezzi di trasporto e l'1% nell'ambiente esterno (*outdoor*) (4). Studi di settore hanno dimostrato che in presenza di fonti interne e con bassi livelli di ricircolo dell'aria, i livelli degli inquinanti riscontrabili negli ambienti *indoor*, e

in particolare i livelli dei COV, possono essere di gran lunga superiori rispetto a quelli rilevati all'esterno, talvolta anche 10-20 volte maggiori, come nel caso della formaldeide (5).

Normalmente gli occupanti degli edifici risultano esposti non a una singola sostanza ma a una miscela di sostanze inquinanti, in concentrazioni variabili nello spazio e nel tempo, emesse da sorgenti che possono essere differenti per numero e tipologia (interne/esterne).

Attualmente, nel nostro Paese, non esiste una normativa di riferimento per gli inquinanti *indoor* e, pertanto, fino ad oggi, le maggiori informazioni riguardanti alcuni valori guida o di riferimento negli ambienti confinati da utilizzare per un primo confronto, sono quelli che possono essere reperiti nella letteratura scientifica o nella normativa di altri Paesi europei o, per analogia, ad altri standard quali, ad esempio, quelli relativi all'aria ambiente (6).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nelle linee guida per la qualità dell'aria *indoor* indica i valori raccomandati per un certo numero di inquinanti, tra cui alcuni COV, quali: benzene, formaldeide, tricloroetilene, tetracloroetilene e naftalene (anche quest'ultimo incluso nei COV) oltre a biossido di azoto, monossido di carbonio, idrocarburi policiclici aromatici (in particolare benzo[a]pirene) (7). In Italia esistono le "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" (Accordo 27 settembre 2001), e quello ai sensi dell'articolo 9 del DLv.o 27 agosto 1997, n. 281, tra Governo, Regioni, Province Autonome di Trento e Bolzano, Province, Comuni e Comunità montane, concernente le "Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio *indoor* per allergie ed asma" (18 novembre 2010). Entrambi sono ancora lontani dal fornire indicazioni sui tempi, sulle procedure da utilizzare, sui limiti o sullo standard da adottare.

I danni dell'inquinamento atmosferico sono determinati sia dalla concentrazione degli inquinanti atmosferici sia dalla quantità di tempo che le persone trascorrono negli ambienti inquinati. L'esposizione agli inquinanti presenti nell'aria *indoor* può essere responsabile dell'insorgenza di specifiche patologie o dell'aggravamento di patologie preesistenti. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute, infatti, possono essere acuti (a breve termine) o cronici (a lungo termine). Gli effetti acuti sono dovuti all'esposizione di breve durata (ore, giorni) a elevate concentrazioni di inquinanti. Gli effetti cronici si manifestano dopo una esposizione prolungata anche a concentrazioni lievi.

Evidenze crescenti mostrano che all'esposizione ad inquinanti presenti nell'ambiente si possono attribuire quote non trascurabili della morbosità e mortalità per neoplasie, malattie cardiovascolari e respiratorie (8). Alcuni COV come il benzene e la formaldeide sono classificati dalla IARC (*International Agency for Research on Cancer*) come cancerogeni accertati per l'uomo (9). Il Comitato Scientifico SCHER (*Scientific Committee on Health and Environmental Risks*) della Commissione Europea, nel documento "Opinion on risk assessment on indoor air quality", raccomanda proprio che la valutazione dei rischi sia sempre focalizzata sui gruppi più vulnerabili, quali i bambini, che trascorrono la maggior parte del loro tempo a casa e a scuola.

Pochi studi hanno indagato nei bambini la relazione tra sintomi e concentrazione di CO₂ a scuola. In Norvegia i livelli di CO₂ sono correlati in maniera significativa con un'alta prevalenza di sintomi irritativi delle alte vie respiratorie. I bambini tedeschi lamentano più sintomi respiratori se esposti ad un'alta concentrazione *indoor* di CO₂ a scuola. Negli USA il livello di attenzione diminuisce significativamente con l'aumento della CO₂ nelle classi. Lo studio europeo HESE (*Health Effects of School Environment*) suggerisce che gli aumentati livelli di PM₁₀ e CO₂, in un giorno di normale attività, sono correlati con broncospasmo, tosse secca notturna e rinite, soprattutto in bambini che si trovano in classi poco ventilate (10). Uno studio trasversale condotto nel Regno Unito ha evidenziato una correlazione inversamente proporzionale tra la quantità di fuliggine presente nei macrofagi delle vie aeree e la funzione polmonare di scolari sani che vivono nella stessa comunità (11). La fuliggine inalata, a

differenza dei gas inquinanti, è trattenuta all'interno dei tessuti delle piccole vie aeree per mesi, forse anni, e può esercitare effetti a lungo termine (12).

È importante considerare che i bambini sono esposti a maggiori inquinanti rispetto agli adulti per la maggiore ventilazione/minuto, le ridotte dimensioni corporee e la maggiore attività fisica, è noto infatti che più è precoce l'esposizione all'inquinamento atmosferico, maggiore è il danno sullo sviluppo della funzionalità polmonare. Il 20% dei bambini in età scolare è esposto per tempi significativi a concentrazioni di $PM_{10} \geq 40 \mu g/m^3$ (13). L'inalazione di PM nel primo anno di vita provoca una alterazione permanente della capacità di crescita polmonare. Ad oggi, non esiste una finestra critica per gli effetti indotti dal PM sulla funzione polmonare. Non ci sono sufficienti evidenze che i bambini asmatici che abitano in zone trafficate abbiano più sintomi o riacutizzazioni (14). Tuttavia uno studio eseguito nella California del Sud segnala che i bambini che vivono entro 500 metri da un'autostrada hanno in 8 anni (tra i 10 e i 18 anni) un FEV_1 (*Forced Respiratory Volume in the 1st second*) più basso di -81 mL (Intervallo di Confidenza, IC 95%, da -143 a -18) rispetto ai bambini che vivono ad almeno 1500 metri dall'autostrada (14). Uno studio di coorte eseguito ad Oslo indica effetti maggiori dell'inquinamento atmosferico nei bambini con asma rispetto a quelli senza asma, in particolare in quelli sensibilizzati ad allergeni (15). L'esposizione all'inquinamento nei bambini allergici può esercitare un effetto sinergico sulla risposta infiammatoria allergene-specifica, oltre ad un effetto irritativo sulle vie aeree.

In conclusione maggiore è il tempo di esposizione agli inquinanti emessi dal traffico veicolare, notevole è l'aumento di sintomi respiratori quali tosse e wheezing nei bambini asmatici, così come l'utilizzo di farmaci al bisogno e il numero di sensibilizzazioni allergiche. È necessario uno stretto controllo dell'emissione veicolare, specialmente nelle aree in cui i bambini partecipano ad attività all'aperto. Tuttavia i bambini trascorrono la maggior parte del loro tempo a casa, dove sono esposti a concentrazioni di PM marcatamente più elevate rispetto a quelle dell'ambiente esterno. Strategie volte a ridurre l'esposizione al PM dovrebbero prevedere l'allontanamento del bambino durante le pulizie di casa, il miglioramento della ventilazione (compresa l'apertura delle finestre) e il divieto di fumo in casa.

Nuove e più approfondite ricerche sono necessarie per valutare gli effetti a lungo termine di tali esposizioni, per comprendere il meccanismo con cui gli inquinanti sono nocivi per i soggetti esposti e per valutare il reale rapporto costo-efficacia di misure preventive per migliorare la qualità dell'aria.

Bibliografia

1. Baldacci S, Maio S, Viegi G. Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione ovvero come orientarsi nella lettura e interpretazione di studi ambientali, tossicologici ed epidemiologici. *Epidemiol Prev* 2009;33(6) suppl 2:1-72.
2. Bernstein JA, Alexis N, Barnes C, Bernstein IL, Bernstein JA, Nel A, Peden D, Diaz-Sanchez D, Tarlo SM, Williams PB. Health effects of air pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2004;114(5): 1116-23.
3. World Health Organisation. *Air Quality Guidelines – Global Update 2005*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Regional; 2006.
4. Kunzli N, Oglesby L. *Air pollution exposure distributions of adult urban populations in Europe “EXPOLIS” Intermediate Scientific Report for the Federal Office for Education and Sciences (BBW)*. Basel: BBW; 1997.
5. Salthammer T, Mentese S, Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews* 2010;110:2536-72.

6. Settimo G. La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. *Not Ist Super Sanità* 2012;25(5):7-10.
7. World Health Organization. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf; ultima consultazione 8/3/2013.
8. Baldacci S, Viegi G. Respiratory effects of environmental pollution: epidemiological data. *Monaldi Arch Chest Dis* 2002;57:156-60.
9. International Agency for Research on Cancer. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Review of Human Carcinogens. Monographs volumes 100 to 100F*. Lyon: IARC; 2012.
10. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, Norback D, Wieslander G, Nystad W, Canciani M, Sestini P, Viegi G. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J*. 2010;35(4):742-9.
11. Kulkarni N, Pierse N, Rushton L, Grigg J. Carbon in airway macrophages and lung function in children. *N Engl J Med* 2006;355:21-30.
12. Pinkerton KE, Green FH, Saiki C, Vallyathan V, Plopper CG, Gopal V, Hung D, Bahne EB, Lin SS, Menache MG, et al. Distribution of particulate matter and tissue remodeling in the human lung. *Environ Health Perspect* 2000;108:1063-1069.
13. Health Effects Institute. *Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure and health effects*. Boston, MA: Health Effects Institute; 2010. (HEI Special Report 17).
14. Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Kunzli N, Jerrett M, et al. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet* 2007;369:571-7.
15. Oftedal B, Brunekreef B, Nystad W, Madsen C, Walker SE, Nafstad P. Residential outdoor air pollution and lung function in schoolchildren. *Epidemiology* 2008;19:129-37.

INDAGINE SUI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NELL'ARIA INDOOR/OUTDOOR DI UN PRESIDIO ODONTOIATRICO

Anna Santarsiero (a), Sergio Fuselli (a), Roberta Morlino (a), Marco De Felice (a), Gianluca Minniti (b), Emanuela Ortolani (b)

(a) Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

(b) Pronto Soccorso, Ospedale Odontoiatrico George Eastman, Roma

Introduzione

La valutazione dei livelli di concentrazione dei Composti Organici Volatili (COV) nei presidi odontoiatrici ha una grande rilevanza in quanto il rischio espositivo (professionale od occupazionale) (1-5) non è limitato alla sola categoria professionale, ma riguarda anche visitatori e/o pazienti che possono comprendere anche gruppi più suscettibili quali bambini, anziani e persone già affette da patologie croniche (respiratorie, asma bronchiale, allergie), che involontariamente e senza esserne a conoscenza sono esposti agli specifici potenziali contaminanti derivanti dall'attività odontoiatrica.

L'inquadramento delle sorgenti *indoor* di COV, e quindi l'individuazione dei fattori (area di lavoro, materiali e sostanze in uso in odontoiatria per le procedure cliniche di tipo odontoiatrico) che influenzano la qualità dell'aria nell'ambiente di lavoro, è di grande importanza ai fini delle misure da adottare per la riduzione della contaminazione e per l'ottimizzazione della gestione di un presidio odontoiatrico.

A tale scopo è stata effettuata una indagine presso il Pronto Soccorso dell'Ospedale Odontoiatrico George Eastman di Roma nel periodo 2007-2009.

Il Pronto Soccorso è operativo 24 ore su 24, il volume di pazienti che afferisce al Pronto Soccorso è di circa 38.000 per anno e molto eterogeneo dal punto di vista delle attività odontoiatriche richieste (6). Tali fattori, numero di pazienti e numero e tipologie di interventi odontoiatrici effettuati, costituiscono un interessante campione per una indagine delle possibili correlazioni tra numero di pazienti sottoposti ad interventi odontoiatrici, tipi di interventi effettuati e possibile contaminazione del reparto.

Materiali e metodi

COV indagati

Tra i COV da indagare (7, 8) furono scelti i seguenti: benzene, toluene, etilbenzene, e m-o-p-xileni (di seguito indicati come BTEX, termine che include anche il metilmetacrilato, MMA); e 7 aldeidi (formaldeide, acetaldeide, propionaldeide, benzaldeide, n-butiraldeide, isovaleraldeide e valeraldeide) (di seguito denominate CARB).

Tale scelta deriva dal fatto che i BTEX sono spesso usati come *marker* per l'esposizione ai COV, e il benzene è stato classificato cancerogeno (Gruppi 1) (9-11) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (*International Agency For Research On Cancer*,

IARC); il metilmetacrilato (MMA) è un monomero di resina acrilica in uso in odontoiatria, con azione sensibilizzante (1, 2).

I CARB sono inquinanti *indoor/outdoor* di interesse per quanto riguarda il loro impatto sui sintomi di allergia e asma (5); la formaldeide è classificata dalla IARC in classe 1 come cancerogeno (12).

Area monitorata

Lo studio è stato effettuato presso l’Ospedale Odontoiatrico George Eastman di Roma. Il monitoraggio dei COV è stato effettuato in 2 comparti operativi del pronto soccorso così come riportato nella Figura 1.

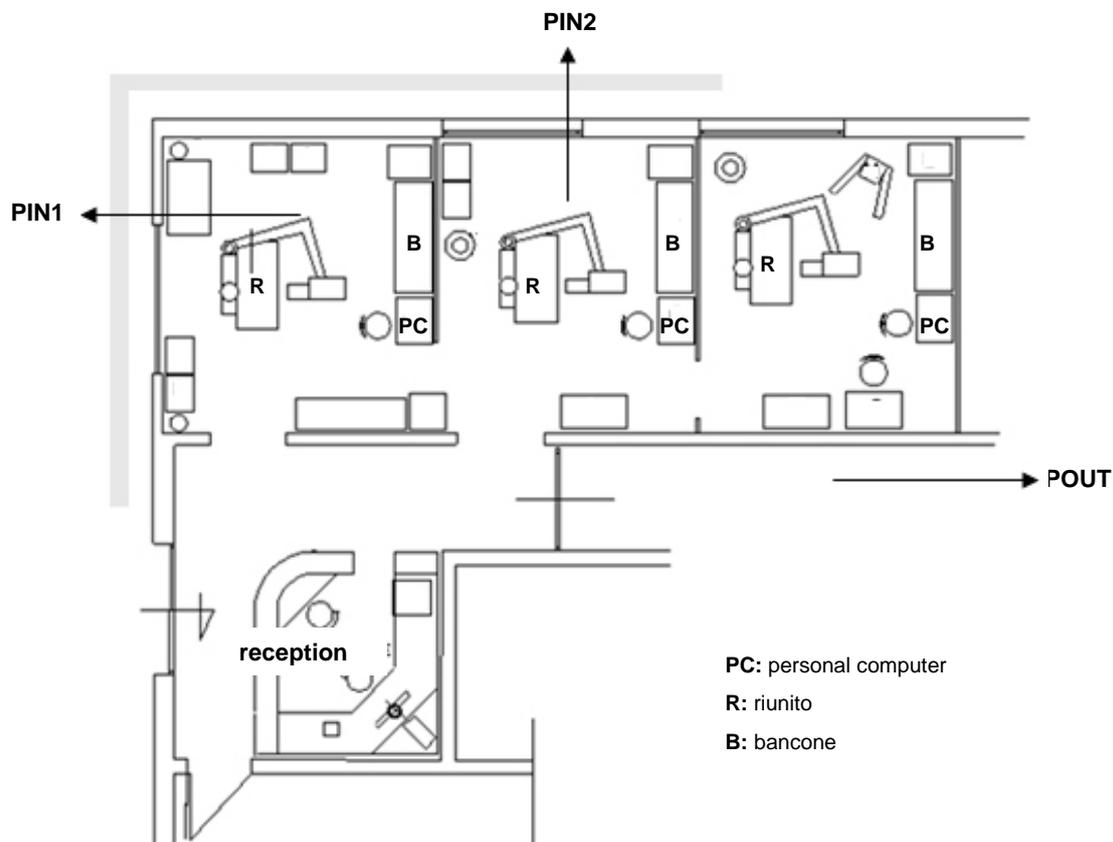


Figura 1. Area del pronto soccorso dell’Ospedale Odontoiatrico *George Eastman* di Roma con i comparti monitorati e i relativi punti *indoor* (PIN1 e PIN2) e *outdoor* (POUT) di campionamento

Lo spazio totale dei 2 comparti appare come un ambiente unico dal momento che essi, ciascuno di area di 15 m², sono separati da un pannello di altezza 1,50 m e al solo scopo della privacy dei pazienti durante gli interventi.

Ciascun comparto operativo è equipaggiato di un riunito, un bancone di lavoro, un computer e di strumenti e apparecchiature per il trattamento dei pazienti che afferiscono al pronto soccorso.

Punti di campionamento *indoor/outdoor*

Il campionamento dell'aria *indoor/outdoor* della durata di 7 giorni consecutivi su base mensile è stato effettuato da novembre 2007 a ottobre 2008.

Sono stati considerati 2 punti di campionamento dell'aria *indoor* uno per ciascun comparto operativo e uno di aria *outdoor* esterno all'edificio (vedi Figura 1).

Per il campionamento sono stati utilizzati campionatori passivi, il radiello codice n. 165 e n. 130 rispettivamente per i CARB e per i BTEX e MMA, posizionati nel seguente modo:

- 2 campionatori, di cui uno per BTEX e MMA e l'altro i CARB, posizionati l'uno accanto all'altro a circa 1,70 m dal pavimento e distante circa 1,0 m dal riunito (PIN1);
- 2 campionatori, di cui uno per BTEX e MMA e l'altro i CARB, posizionati l'uno accanto all'altro a circa 1,70 m dal pavimento e distante circa 1,0 m dal riunito (PIN2);
- 2 campionatori, di cui uno per BTEX e MMA e l'altro per i CARB, posizionati l'uno accanto all'altro sul davanzale esterno di una finestra (POUT) di una stanza separata dai 2 comparti.

L'identificazione e la determinazione di BTEX e MMA è stata effettuata sulla base dei tempi di ritenzione e confermata con gascromatografia-spettrometria di massa (GC6890 HP-MS 5973 HP), mentre la determinazione delle aldeidi è stata effettuata con HPLC.

Attività odontoiatrica

Durante il monitoraggio sono state registrate:

- le patologie dentali trattate (es. pulpite, periodontite acuta, periodontite cronica, ascesso, medicazione, rimozione amalgama/composito, ecc.);
- le sostanze e i materiali utilizzati nelle procedure di trattamento odontoiatrico;
- il numero di pazienti che ha subito un trattamento odontoiatrico con uso di trapano;
- il numero totale di pazienti afferiti.

Analisi statistica

Nello studio effettuato da Santarsiero *et al.* (13), l'uso estensivo dell'Analisi delle Componenti Principali sui diversi insiemi di dati ottenuti dal monitoraggio (14-20), la valutazione delle correlazioni mediante l'analisi di regressione multipla e delle correlazioni parziali (13) ha consentito di costruire un modello che evidenzia un bilancio tra attività odontoiatrica svolta e livelli di concentrazioni di COV nell'*indoor* dei comparti indagati.

Tale modello dato dalla seguente equazione:

$$\text{PATOLFACT1} = 0,127 - 0,66 (\text{CARBFACTOUT1}) + 0,56 (\text{CARBFACTIN5}) \quad [1]$$

(F=14,41, p <0,002, R²= 0,78, corrispondente a un coefficiente di Pearson r=0,88)

identifica una stretta relazione tra la prima componente (quindi il fattore più importante di variazione) dei tipi di patologie trattate (PATOLFACT1) e una combinazione tra una componente di inquinamento *indoor* (CARBFACTIN5) e una componente di inquinamento *outdoor* (CARBFACTOUT1) delle aldeidi.

A fronte delle relative basse concentrazioni dei COV investigati, ben al di sotto dei limiti di esposizione occupazionale, il modello [1] evidenzia che formaldeide, acetaldeide, propionaldeide, isovaleraldeide e valeraldeide effettivamente derivano dall'attività odontoiatrica.

Il fatto che nell'equazione [1] non compaia alcuna componente BTEX (incluso MMA) e quindi i BTEX e il MMA non risultino correlati con PATOLFACT1, suggerisce la presenza di altri tipi di sorgenti *indoor* di BTEX e MMA.

In particolare, per quanto riguarda il MMA esso è di origine interna sebbene di sorgente diversa da quella della formaldeide e degli altri inquinanti rilevanti per il modello [1]. Infatti, concentrazioni di MMA non sono stati mai riscontrate nei campioni di aria *outdoor*.

Inoltre, da protocollo il Pronto Soccorso effettua solo procedure di rimozione dei materiali compositi. Perciò, la presenza di MMA potrebbe essere attribuita solo al flusso di aria contaminata (da MMA) proveniente da altri reparti dell'ospedale attraverso l'apertura di porte (13, 21-23).

Per quanto riguarda invece le sorgenti *indoor* dei BTEX, esse potrebbero derivare, oltre che dalle altre aree annesse attraverso l'apertura delle porte, da flussi di aria esterna all'edificio attraverso l'apertura delle porte e finestre.

L'individuazione delle sorgenti *indoor* dei BTEX dovute all'aria esterna è importante in quanto il Pronto Soccorso è ubicato in zona della città ad alta intensità di traffico veicolare e pertanto l'inquinamento *outdoor* per via delle infiltrazioni dell'aria all'interno degli edifici, è una delle principali sorgenti dell'inquinamento *indoor*. Pertanto, negli ambienti *indoor*, è possibile trovare tutti quegli inquinanti generalmente presenti negli ambienti esterni: COV come il benzene e altri idrocarburi aromatici. L'inquinamento *outdoor* è causato dalle emissioni veicolari derivanti dalla combustione, evaporazione e degradazione del carburante (24).

Inoltre, meccanismi di adsorbimento/desorbimento e fattori microclimatici (velocità dell'aria, temperatura, umidità dell'aria, ecc.) negli ambienti confinati possono condizionare le concentrazioni dei contaminanti *indoor*. Infatti, i composti organici volatili che fluiscono dall'esterno tramite finestre aperte possono divenire, in un secondo momento, sorgenti secondarie di emissione. Ovviamente, in presenza di sorgenti *indoor*, una ventilazione naturale o forzata, comporta una diluizione degli inquinanti. Tuttavia, in assenza di sorgenti interne l'ingresso di aria inquinata non farà altro che incrementare le concentrazioni interne dei COV.

Pertanto in questo lavoro, viene indagata più nel dettaglio la natura dello scambio tra *indoor* e *outdoor*.

Dai dati, concernenti i coefficienti di correlazione di Pearson tra le componenti principali *indoor* (BTEXFACTIN#, CARBFACTIN#) e *outdoor* (BTEXFACTOUT#, CARBFACTOUT#) rispettivamente, riportati da Santarsiero *et al.* (13), emergono tra le componenti *indoor* e *outdoor* le seguenti correlazioni (coefficienti di Pearson) statisticamente significative:

- a) la prima componente principale dei BTEX *indoor* (BTEXFACTIN1) ha un coefficiente di Pearson $r=0,703$ ($p<0,0108$) con la seconda componente BTEX *outdoor* (BTEXFACTOUT2);
- b) la terza componente principale *indoor* (BTEXFACTIN3) ha un coefficiente di Pearson $r=0,707$ ($p<0,0102$) con la prima componente principale *outdoor* (BTEXFACTOUT1);
- c) la quinta componente *indoor* delle aldeidi (CARBFACTIN5) ha un coefficiente di Pearson $r=0,608$ ($p<0,0473$) con la terza componente principale *outdoor* (CARBFACTOUT3);
- d) la terza componente principale *indoor* CARBFACTIN3 ha un coefficiente di Pearson $r=0,712$ ($p<0,0140$) con la seconda componente principale *outdoor* (CARBFACTOUT2).

Tale ricchezza di relazioni tra interno ed esterno indica, come prevedibile, uno scambio attivo fra i compartimenti *indoor* e *outdoor* supportato dalle vie di flusso indicate in precedenza.

Questa ricchezza di relazioni delle componenti considerate a coppie, rende rilevante applicare ai nostri insiemi di dati di concentrazioni *indoor* e *outdoor* di COV un modello di analisi canonica (25-26). Ciò allo scopo di avere un'idea immediata dei principali fattori di comunicazione tra interno ed esterno.

Infatti, l'analisi canonica permette di considerare contemporaneamente N variabili dell'insieme dei dati X (*indoor* nel nostro caso) ed M variabili dell'insieme dei dati Y (*outdoor* nel nostro caso) per trovare la combinazione lineare delle X massimamente correlata con un analogo combinazione lineare delle Y.

Nel nostro caso sono state calcolate due distinte correlazioni canoniche per le componenti CARBFACT# e BTEXFACT# avendo per insiemi X e Y le variabili *indoor* e *outdoor* così da stabilire la più efficace connessione fra interno ed esterno nel caso dei due tipi di inquinanti (BTEX e aldeidi CARB).

L'analisi della correlazione canonica è stata effettuata con il *software* statistico SAS.

Dai risultati di analisi della correlazione canonica applicata al nostro insieme di variabili emerge quanto segue:

- per le variabili CARBFACT#, coefficienti di correlazione canonica CORR1=0,96, CORR2= 0,91, CORR3=0,26;
- significatività statistica (Lambda di Wilks: V=0,0118; F=3,94; gradi di libertà=12; p=0,0156);
- per le componenti *indoor* e *outdoor* delle aldeidi (CARBFACTIN# e CARBFACTOUT#), le variate canoniche riportate nella Tabella 1.

Tabella 1. Risultati di analisi di correlazione canonica tra le componenti *indoor* (CARBFACTIN#) e tra le componenti *outdoor* (CARBFACTOUT#) effettuata con il software statistico SAS

Componenti	Variate canoniche
<i>Indoor</i>	V1
CARBFACTIN1	0,17
CARBFACTIN2	0,00
CARBFACTIN3	0,86
CARBFACTIN5	0,48
<i>Outdoor</i>	W1
CARBFACTOUT1	0,34
CARBFACTOUT2	0,76
CARBFACTOUT3	0,56

* In **grassetto** coefficienti e componenti con correlazione di netta significatività statistica

** In *corsivo* variabili con correlazione di significatività statistica.

La Tabella 1 – tenuto conto che la prima coppia di variabili canoniche (V1, W1) mostra una strettissima correlazione fra interno ed esterno (CORR1 = 0,96, con una netta significatività statistica, p=0,0156) – evidenzia che le componenti più correlate con la prima variabile canonica sono CARBFACTIN3 (r=0,86) per il lato *indoor* e CARBFACTOUT2 (r=0,76) per il lato *outdoor* dove CARBFACTOUT3 ha una correlazione ancora significativa ma più bassa pari a r=0,56. Quindi possiamo indicare nella terza componente interna (CARBFACTIN3) e nella seconda esterna (CARBFACTOUT2) i più importanti veicoli di scambio tra i compartimenti.

Per una interpretazione di questi risultati è importante controllare quali siano gli inquinanti CARB *outdoor* e CARB *indoor* maggiormente rilevanti per queste due componenti.

Le Tabelle 2 e 3 riportano rispettivamente il profilo di loading (coefficienti di correlazione tra le componenti principali e le variabili originali) per CARBFACTOUT2 e CARBFACTIN3, e in grassetto vengono evidenziati gli inquinanti più rilevanti per la componente in questione.

Tabella 2. Profilo di loading (coefficienti di correlazione tra componenti e variabili originali) per CARBFACTOUT2 e CARBFACTOUT3

CARBOUT# (Aldeidi)	CARBFACTOUT2	CARBFACTOUT3
POUTFORMAL	-0,10	-0,18
POUTACETAL	-0,16	0,50
POUTPROPIONAL	0,08	0,05
POUTBUTYRAL	-0,79	0,20
POUTBENZAL	0,86	0,35
POUTISOVAL	0,33	0,15
POUTVAL	0,25	-0,54

In **grassetto** gli inquinanti più rilevanti per la componente in questione

Tabella 3. Profilo di loading (coefficienti di correlazione tra componenti e variabili originali) per CARBFACTIN3

CARBIN# (Aldeidi)	CARBFACTIN3
PIN1FORMAL	-0,50
PIN2FORMAL	0,42
PIN1ACETAL	0,06
PIN2ACETAL	0,09
PIN1PROPIONAL	-0,32
PIN2PROPIONAL	-0,09
PIN1BUTYRAL	0,25
PIN2BUTYRAL	0,18
PIN1BENZAL	-0,06
PIN2BENZAL	0,09
PIN1ISOVAL	0,89
PIN2ISOVAL	0,90
PIN1VAL	-0,13
PIN2VAL	0,10

In **grassetto** gli inquinanti più rilevanti per la componente in questione

Lo scambio fondamentale è allora identificato dalla corrispondenza tra alti valori di isovaleraldeide nell'*indoor* e un bilancio (notare i segni opposti delle due specie chimiche nel fattore out) tra butiraldeide e benzaldeide esterna.

Riguardo alle variabili BTEXFACT# *indoor* e *outdoor*, i risultati dall'analisi delle correlazioni canoniche, effettuata con lo stesso software statistico SAS, evidenziano quanto segue:

- per le variabili BTEXFACT#, coefficienti di correlazione canonica CORR1=0,94, CORR2= 0,81, CORR3=0,26;
- significatività statistica (Lambda di Wilks: V=0,0376; F=4,67; gradi di libertà= 9; p=0,0045);
- per le componenti *indoor* e *outdoor* delle aldeidi (BTEXFACTIN# e BTEXFACTOUT#), coefficienti canonici riportati nella Tabella 4.

Dalla Tabella 4, tenuto conto che la prima coppia di variabili canoniche (V1, W1) mostra una strettissima correlazione fra interno ed esterno (CORR1= 0,94 con una netta significatività statistica (p=0,0045), emerge che le componenti più correlate con la prima variabile canonica sono BTEXFACTIN1 (r=0,94) per il lato *indoor* e BTEXFACTOUT2 (r=0,74) per il lato *outdoor* dove BTEXFACTIN1 ha una correlazione ancora significativa ma più bassa pari a r= -0,65. Quindi possiamo indicare nella prima componente interna (BTEXFACTIN1) e nella seconda esterna (BTEXFACTOUT2) i più importanti veicoli di scambio tra i compartimenti, mentre BTEXFACTOUT1 ha un ruolo lievemente meno rilevante.

Tabella 4. Risultati di analisi di correlazione canonica, tra le componenti *indoor* (BTEFACTIN#) e *outdoor* (BTEFACTOUT#), effettuata con il software statistico SAS

Componenti	Variate canoniche
Indoor	V1
BTEFACTIN1	0,93
BTEFACTIN2	0,32
BTEFACTIN3	-0,17
Outdoor	W1
BTEFACTOUT1	-0,65
BTEFACTOUT2	0,74
BTEFACTOUT3	0,16

* In **grassetto** coefficienti e componenti con correlazione di netta significatività statistica

** In *corsivo* variabili con correlazione di significatività statistica.

Per interpretare tali risultati anche in questo caso è importante controllare quali siano gli inquinanti BTEX *outdoor/ indoor* maggiormente rilevanti per queste componenti.

A tale scopo, le Tabelle 5 e 6 riportano rispettivamente il profilo di loading (coefficienti di correlazione tra componenti e variabili originali) per BTEFACTIN1, BTEFACTOUT2 e BTEFACTOUT1; in grassetto sono evidenziati gli inquinanti maggiormente rilevanti per le componenti.

Tabella 5. Profilo di loading (coefficienti di correlazione tra componenti e variabili originali) per BTEFACTIN1

BTEXIN#	BTEFACTIN1
PIN1BENZ	0,31
PIN2BENZ	0,66
PIN1TOLUEN	0,81
PIN2TOLUEN	0,83
PIN1ETHYLBENZ	-0,21
PIN2ETHYLBENZ	-0,30
PIN1XYL	0,86
PIN2XYL	0,86
PIN1MMA	-0,28
PIN2MMA	-0,40

In **grassetto** gli inquinanti più rilevanti per la componente in questione

Tabella 6. Profilo di loading (coefficienti di correlazione tra componenti e variabili originali) per BTEFACTOUT1 e BTEFACTOUT2

BTEXOUT#	BTEFACTOUT1	BTEFACTOUT2
POUTBENZ	0,76	0,50
POUTTOLUEN	-0,02	0,94
POUTETHYLBENZ	0,76	-0,18
POUTXYL	-0,73	0,31

In **grassetto** gli inquinanti più rilevanti per la componente in questione

Dalle Tabelle 5 e 6, pertanto si deduce che lo scambio fondamentale è identificato dalla corrispondenza tra alti valori di toluene interni con benzene ed etilbenzene esterni; uno scambio tra xileni interni ed esterni, un bilancio tra benzene, toluene, etilbenzene e xileni interni con benzene esterno.

Conclusioni

In definitiva, i BTEX risultano di origine esterna, mentre il MMA di origine interna. In particolare, l'origine interna del MMA potrebbe essere attribuita solo al flusso di aria contaminata (da MMA) proveniente da altri reparti dell'ospedale attraverso l'apertura di porte (13-14, 21-23).

Globalmente possiamo dire di aver individuato le principali fonti di inquinanti che scambiano fra i compartimenti interni ed esterni. L'assegnazione quantitativa di un certo inquinante (o ancora meglio di una componente principale che raccoglie più inquinanti e quindi punta ad una sorgente comune) al compartimento esterno e il suo 'ripresentarsi' (magari modificato) nel compartimento interno è potenzialmente di grande aiuto per operazioni di bonifica e di stima del rischio.

Bibliografia

1. Hagberg S, Ljungkvist G, Andreasson H, Karlsson S, Barregard L. Exposure to volatile methacrylates in dental personnel. *J Occup Environ Hyg* 2005;2:302-6.
2. Henriks-Eckerman ML, Alanko K, Jolanki R, Kerosuo H, Kanerva L. Exposure to airborne methacrylates and natural rubber latex allergens in dental clinics. *J Environ Monit* 2001;3:302-5.
3. Piirila P, Hodgson U, Estlander T, Keskinen H, Saalo A, Voutilainen R, Kanerva L. Occupational respiratory hypersensitivity in dental personnel. *Int Arch Occup Environ Health* 2002;75:209-16.
4. Piirila P, Kanerva L, Keskinen H, Estlander T, Hytonen M, Tuppurainen M, Nordman H. Occupational respiratory hypersensitivity caused by preparations containing acrylates in dental personnel. *Clin Exp Allergy* 1998;28:1404-11.
5. Santarsiero A, Marcello I, Malaguti Alberti L, Ortolani E. Chemicals in dental care environment. In: Santarsiero A (Ed.). *Conference Dental setting as it stands with current procedures, materials and substances in use and related environment (indoor air quality)*. Abstract Book. Rome, 14 June; 2008. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2008. (ISTISAN Congressi 08/C4). p. 21.
6. Ortolani E, Santarsiero A.. Dental work and patient typology at the dental emergency unit of Ospedale Odontoiatrico George Eastman of Rome. In: Santarsiero A (Ed.). *Conference Dental setting as it stands with current procedures, materials and substances in use and related environment (indoor air quality)*. Abstract Book. Rome, 14 June; 2008. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2008. (ISTISAN Congressi 08/C4). p.3.
7. Pappas GP, Herbert RJ, Henderson W, Koenig J, Stover B, Barnhart S. The respiratory effects of volatile organic compounds. *Int J Occup Environ Health* 2000;6(1):1-8.
8. Allou L, Marchand C, Mirabel Ph, Le Calve S. Aldehydes and BTEX measurements and exposures in university libraries in Strasbourg (France). *Indoor Built Environ* 2008;17(2):138-45.
9. International Agency for Research on Cancer. *Some industrial chemicals and dyestuff. Benzene. (Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 29)*. Lyon: IARC; 1982.
10. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for benzene*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services; 1997.

11. International Agency for Research on Cancer. Chemical agents and related occupations. A review of human carcinogens. In: *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 100F*. Lyon: IARC; 2012. p. 249-285.
12. International Agency for Research on Cancer. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert Butoxypropan-2-ol. Lyon: IARC; 2006. (*Monographs on the evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, volume 88*).
13. Santarsiero A, Fuselli S, Morlino R, Minniti G, De Felice M, Ortolani E. Air pollution/working activity correlation: a case study in a dental hospital. *International Journal of Environmental Health Research* 2011;21(1):22-40.
14. Santarsiero A, Fuselli S. *Indoor and outdoor* air carbonyl compounds correlation elucidated by principal component analysis. *Environ Res* 2008;106:139-47.
15. Santarsiero A, Veschetti E, Ottaviani M. Elements in wastewater for agricultural use. *Microchem J* 1996; 54:338-47.
16. Benigni R, Giuliani A. Quantitative modeling and biology: The multivariate approach. *Am J Physiol* 1994; 266:R1697-704.
17. Burstyn I. Principal component analysis is a powerful instrument in occupational hygiene inquiries. *Ann Occup Hyg* 2004;48(8):655-661.
18. Crescenzi M, Giuliani A. The main biological determinants of tumor line taxonomy elucidated by a principal component analysis of microarray data. *FEBS Lett* 2001;507(1):114-8.
19. Giuliani A, Colafranceschi M, Webber CL, Zbilut JP. A complexity score derived from principal components analysis of nonlinear order measures. *Physica A* 2001;301(1-4):567-88.
20. Giuliani A, Benigni R, Sirabella P, Zbilut JP, Colosimo A. Nonlinear methods in the analysis of protein sequences: A case study in rubredoxins. *Biophys J* 2000;78:136-48.
21. Godwin CC, Batterman SA, Sahni SP, Peng CY. *Indoor* environment quality in dental clinics: potential concerns from particulate matter. *Am J Dent* 2003;16(4):260-6.
22. Helmis CG, Tzoutzas J, Flocas HA, Halios CH, Stathopoulou OI, Assimakopoulos VD, Panis V, Apostolatos M, Sgouros G, Adam E. *Indoor* air quality in a dentistry clinic. *Sci Total Environ* 2007;377(2-3):349-65.
23. Santarsiero A, Fuselli S, Piermattei A, Morlino R, De Blasio G, De Felice M, Ortolani E. Investigation of *indoor* air volatile organic compounds concentration levels in dental settings and some related methodological issues. *Ann Ist Super Sanità* 2009; 45(1):87-98.
24. Fuselli S, Paduano S, Soriero A. Andamenti stagionali di alcuni composti organici volatili all'interno ed all'esterno di abitazioni situate in zone caratterizzate da differenti intensità di traffico veicolare nella città di Roma. *Ann Ist Super Sanità* 2002;38(2):175-85.
25. Tinsley HEA, Brown SD. *Handbook of applied multivariate statistics and mathematical modeling*. San Diego: Academic Press; 2000.
26. Sirabella P, Giuliani A, Colosimo A, Dippner JW. Breaking down the climate effects on cod recruitment by principal component analysis and canonical correlation. *Mar Ecol Prog Ser* 2001;216:213-22.

*Stampato da Ugo Quintily SpA
Viale Enrico Ortolani 149/151, 00125 Roma*

Roma, ottobre-dicembre 2013 (n. 4) 25° Suppl.