



## Analisi preliminare dell'inquinamento indoor da biossido di azoto in un'area del Nord Italia

## Preliminary analysis of indoor pollution from nitrogen dioxide in an area of Northern Italy

Michela Ponzio,<sup>1</sup> Simona Villani,<sup>1</sup> Francesco Frigerio,<sup>2</sup> Anna Verri,<sup>1</sup> Alessandra Marinoni,<sup>1</sup> Gruppo ECRHS

<sup>1</sup> Dipartimento di scienze sanitarie applicate e psicocomportamentali, Università degli studi di Pavia

<sup>2</sup> Provincia di Pavia, Punto energia

Corrispondenza: Michela Ponzio, Dipartimento di scienze sanitarie applicate e psicocomportamentali, Università degli studi di Pavia, via Bassi 21, 27100 Pavia; e-mail: michela.ponzio@unipv.it

### Cosa si sapeva già

■ In questi ultimi anni sono stati numerosi gli studi riguardanti il «problema dell'inquinamento». Dal momento che l'uomo trascorre il 90% circa del proprio tempo negli ambienti confinati, l'inquinamento dell'aria entro gli edifici dovrebbe diventare oggetto d'interesse visto che le patologie di tipo respiratorio sono potenzialmente correlate a inquinamenti indoor. Gli studi che quantificano il livello di esposizione a NO<sub>2</sub> (principale inquinante domestico di tipo chimico) sono però ancora scarsi e non sempre concordanti.

### Cosa si aggiunge di nuovo

■ Questo lavoro fornisce informazioni sullo «stato di salute» delle abitazioni di un'area del Nord Italia (Pavia), utilizzando la misurazione diretta (campionatori passivi) dei livelli di inquinamento domestico (NO<sub>2</sub>) e non l'uso di *proxi* (uso/non uso di apparecchi a gas per cucinare e/o riscaldare) come nella maggior parte degli studi epidemiologici pubblicati.

### Riassunto

**Obiettivo:** le finalità del presente lavoro sono da un lato stimare la concentrazione media annua di NO<sub>2</sub>, e dall'altro identificare le caratteristiche delle abitazioni e il «comportamento» dei loro occupanti correlati a tale inquinante su un campione di individui residenti a Pavia.

**Disegno:** lo studio si inserisce nell'indagine internazionale multicentrica European Community Respiratory Health Survey II. I dati, raccolti tra marzo 2001 e giugno 2002 attraverso una visita domiciliare effettuata da ricercatori dell'Università di Pavia, sono stati analizzati trasversalmente.

**Partecipanti:** i rispondenti al protocollo ambientale sono stati 116.

**Outcome principali:** la concentrazione di NO<sub>2</sub> rilevata con

campionatori passivi costituisce l'end-point principale.

**Risultati:** la concentrazione media di NO<sub>2</sub> entro le 114 abitazioni esaminate è risultata di 47,1 µg/m<sup>3</sup> (±24,5 µg/m<sup>3</sup>) e quella outdoor pari a 44,3 µg/m<sup>3</sup> (±14,5 µg/m<sup>3</sup>). Tra le fonti di variabilità il forno a gas è l'unico apparecchio associato a livelli più elevati di NO<sub>2</sub> all'interno della casa (NO<sub>2</sub> indoor). L'inquinamento all'interno delle abitazioni influenza la concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor e contribuisce all'accumulo di NO<sub>2</sub> all'interno della casa.

**Conclusione:** i risultati trovati costituiscono il punto di partenza per la valutazione dell'impatto dell'NO<sub>2</sub> indoor sulla salute respiratoria.

(*Epidemiol Prev* 2006; 30(2): 85-90)

**Parole chiave:** biossido di azoto, NO<sub>2</sub>, inquinamento indoor, inquinamento outdoor, Nord Italia

### Abstract

**Objective:** the aims of this work are to describe the annual mean concentration of NO<sub>2</sub> and to identify the home features and «habits» of its occupants related to NO<sub>2</sub> levels. Both indoor and outdoor NO<sub>2</sub> concentrations were measured in 114 dwellings in Pavia (Northern Italy).

**Design:** the study is in the frame of European Community Respiratory Health Survey II. Data were collected in the period 2001-2002 during home visits by trained fieldworkers.

**Participants:** 116 subjects gave the consent to home visits.

**Main outcome measure:** NO<sub>2</sub> concentration measured using passive samplers.

**Results:** indoor NO<sub>2</sub> concentration is in average 47.1 µg/m<sup>3</sup> (±24.5 µg/m<sup>3</sup>) and outdoor NO<sub>2</sub> concentration is 44.3 µg/m<sup>3</sup> (±14.5 µg/m<sup>3</sup>). The gas oven is the only domestic gas appliance associate with high levels of NO<sub>2</sub> when measuring in homes. The outdoor pollution affects NO<sub>2</sub> indoor concentrations and contribute to store NO<sub>2</sub> in homes.

**Conclusion:** the study is the first step in the evaluation of NO<sub>2</sub> exposure effect on respiratory health.

(*Epidemiol Prev* 2006; 30(2): 85-90)

**Keywords:** nitrogen dioxide, NO<sub>2</sub>, indoor pollution, outdoor pollution, Northern Italy

### Introduzione

Negli ultimi anni si è osservata una crescente attenzione da parte sia dell'opinione pubblica sia del mondo scientifico per l'inquinamento negli ambienti confinati (quali casa, scuola, uffici) e per gli effetti, talora contrastanti, che l'esposizione indoor può avere sulla salute respiratoria.<sup>1</sup> Lo studio degli effetti dell'inquinamento dell'aria sulla salute umana è complesso in quanto i sintomi non sono specifici e possono esserci più inquinanti responsabili dello stesso disturbo. Alcuni studi condotti sia sui bambini sia sugli adulti hanno evidenziato un aumento di rischio per alcuni sintomi respiratori,<sup>2</sup> altri invece associazioni modeste o nulle tra sintomatologia respiratoria ed esposizioni indoor.<sup>3,4</sup> Le sostanze inquinanti in ambiente confinato possono essere rilasciate dai materiali utilizzati per costruire e arredare le case, nonché dai processi di combustione (gas, legna eccetera). Inoltre l'introduzione di misure per il risparmio energetico come la riduzione dei ricambi d'aria attraverso i doppi vetri possono elevare la concentrazione degli inquinanti all'interno delle abitazioni.<sup>5,6</sup> Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) è uno degli inquinanti chimici maggiormente presenti nelle abitazioni: è un prodotto dei processi di combustione, pertanto legato all'utilizzo di apparecchi a gas (sorgenti principali) per cucinare o per riscaldare gli ambienti.<sup>7-10</sup> L'NO<sub>2</sub> indoor però viene rilevato poco frequentemente, e indicazioni sui livelli di concentrazione sono molto scarse in Italia dove in più del 50% delle abitazioni si utilizzano apparecchi a gas per cucinare e riscaldare.<sup>11</sup> Gli scopi del presente lavoro sono:

- stimare la concentrazione media annua di NO<sub>2</sub>;
  - identificare le caratteristiche delle abitazioni e il comportamento dei loro occupanti in relazione a tale inquinante.
- La quantificazione del livello di esposizione permetterà in un secondo momento di valutare l'impatto del biossido di azoto sulla salute, in particolare riguardo al sistema respiratorio.

### Materiali e metodi

I dati valutati in questo lavoro sono stati raccolti nell'ambito della II fase dello studio internazionale European Community Respiratory Health Survey (ECRHS II)<sup>12</sup> che costituisce un'opportunità unica nel panorama degli studi epidemiologici: esso consentirà infatti di determinare la distribuzione in Europa della concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> in ambiente domestico e di metterla in relazione con i disordini respiratori (sintomi e funzionalità) valutati con metodica standardizzata su campioni di popolazione di età compresa tra i 27 e 52 anni, trattandosi del follow-up della coorte contattata la prima volta nel 1991-93.<sup>13</sup> Allo studio multicentrico europeo hanno preso parte tre centri di ricerca italiani: Pavia, Torino e Verona. In questo lavoro sono esaminati i dati del solo centro di Pavia.

**Campione.** Il protocollo prevedeva la selezione di alme-

no 200 partecipanti dal campione casuale visto nel 1991-93 e richiamato in clinica per il follow-up. Tra questi sono stati arruolati i partecipanti al protocollo NO<sub>2</sub>: il criterio di inclusione era che il soggetto avesse preso parte a un altro protocollo di ECRHS II relativo alla valutazione della distribuzione dell'allergene dell'acaro della polvere nelle abitazioni.<sup>14</sup> I dati sono stati raccolti, tra marzo 2001 e giugno 2002, attraverso una visita domiciliare effettuata da ricercatori dell'Università di Pavia in 118 abitazioni. Sono 116 gli individui che non hanno dato il consenso alla visita domiciliare mentre 4, pur fornendolo, hanno poi rifiutato il monitoraggio dell'NO<sub>2</sub>.

**Condizioni abitative.** Le informazioni riguardanti le caratteristiche dell'abitazione e le abitudini del nucleo familiare sono state raccolte attraverso questionari strutturati standardizzati (sito internet: [www.ecrhs.org](http://www.ecrhs.org)), somministrati da personale appositamente preparato attraverso intervista, durante la visita domiciliare, direttamente al soggetto per il quale si disponeva anche di informazioni cliniche oppure a un altro membro della famiglia. Tali visite sono state distribuite nell'arco di un anno per garantire che le case fossero visitate in tutte le stagioni.

**Monitoraggio NO<sub>2</sub>.** La rilevazione dell'NO<sub>2</sub> è stata effettuata utilizzando campionatori passivi. Un primo campionario era collocato in cucina, sul muro opposto al fornello a gas, a una altezza di 1,5-1,8 metri dal pavimento, e un secondo all'esterno della finestra della cucina a una distanza di 20-50 centimetri dal davanzale, entrambi per un periodo di 14 giorni consecutivi. La concentrazione media di NO<sub>2</sub> è stata determinata per due periodi di rilevazione a distanza di 6 mesi l'uno dall'altro; 26 soggetti su 114 non hanno aderito alla seconda rilevazione.

Nel primo dei due periodi di rilevazione i campionatori erano posizionati dal ricercatore che effettuava la visita domiciliare. Nella seconda rilevazione i campionatori, spediti per posta con le istruzioni per il loro posizionamento, erano collocati direttamente dal partecipante. Alla conclusione del periodo di 14 giorni il campionario veniva chiuso dal partecipante e inviato al Centro per posta unitamente a un breve questionario sul quale dovevano essere riportate data e ora di chiusura del campionario. I campionatori sono stati analizzati, per tutti i centri partecipanti, dal partner svizzero cui erano spediti a intervalli regolari.

### Analisi statistiche

E' stata esaminata la differenza della concentrazione di NO<sub>2</sub> relativa al primo periodo di rilevazione (correlazione di Spearman) tra l'interno e l'esterno delle abitazioni e tra stagioni (ANOVA). Quindi è stato stimato il valore medio annuo di concentrazione di NO<sub>2</sub> per abitazione (indoor e outdoor) come media geometrica delle due rilevazioni effettuate a distanza di 6 mesi.

Sono state indagate con un'analisi della varianza

	n.	media±ds µg/m <sup>3</sup>	mediana µg/m <sup>3</sup>
concentrazione NO <sub>2</sub> indoor	88	45,18±15,86	43,73
concentrazione NO <sub>2</sub> outdoor	87	41,54±9,28	40,09

\* un campione outdoor della II fase di rilevazione è stato escluso in quanto la concentrazione rilevata è stata ritenuta non attendibile

Tabella 1. Concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> indoor e outdoor.

Table 1. Indoor and outdoor NO<sub>2</sub> concentrations: annual mean and median.

(ANOVA) le sorgenti di variabilità sia per l'NO<sub>2</sub> indoor sia per l'outdoor, utilizzando come variabile di risposta la concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> per abitazione trasformata logaritmicamente. Infine per identificare il ruolo dei fattori indoor sulla concentrazione media di NO<sub>2</sub> entro le abitazioni è stata condotta una analisi di regressione multipla (*back-ward stepwise*), dove tra le esplicative sono stati introdotti sia le caratteristiche dell'abitazione sia potenziali confondenti esterni a essa. I risultati del modello di regressione sono stati espressi come *mean ratio* (MR) anziché coefficienti di regressione. L'MR è il rapporto tra le medie geometriche della concentrazione di NO<sub>2</sub> di ogni categoria analizzata *vs* quella di riferimento.

Le analisi sono state condotte utilizzando i pacchetti statistici SPSS 11.0 e STATA 8.0.

## Risultati

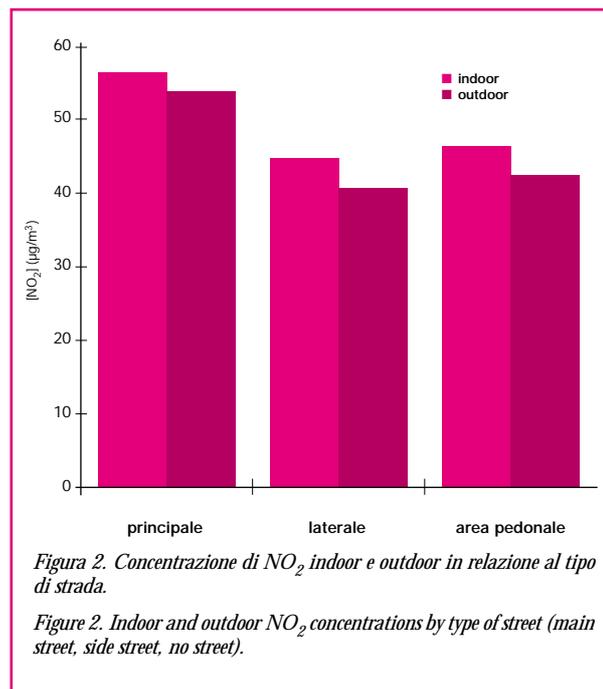
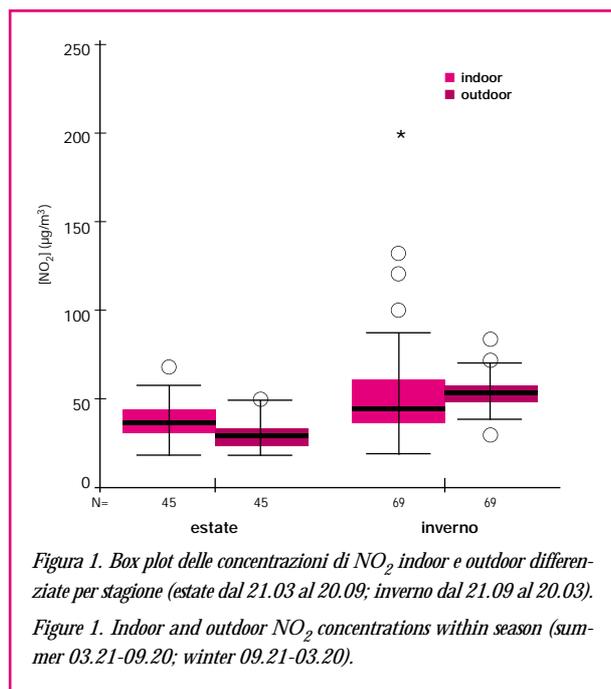
La concentrazione di NO<sub>2</sub> interna alle abitazioni presenta valori medi (indoor: 47,1±24,5 µg/m<sup>3</sup>) più elevati e una maggiore variabilità (CV= 52,0% *vs* 32,7%) di

quella monitorata esternamente (outdoor: 44,3±14,5 µg/m<sup>3</sup>) utilizzando la stessa metodica e nello stesso tempo (primo periodo di rilevazione). Entro le abitazioni le concentrazioni di NO<sub>2</sub> sono significativamente (p= 0,0001) più elevate in inverno (dal 21.09 al 20.03) che in estate (dal 21.03 al 20.09). Ancora più evidente (p <0,0001) è l'andamento stagionale all'esterno delle stesse abitazioni (figura 1).

Entro stagione (figura 1) si nota che, nel periodo estivo, le concentrazioni medie all'interno delle abitazioni sono più elevate (indoor: 37,8±11,1 µg/m<sup>3</sup>) di quelle esterne (outdoor: 29,8±8,2 µg/m<sup>3</sup>), mentre nella stagione invernale si registra una situazione opposta (53,8±8,6 µg/m<sup>3</sup> *vs* 53,2±28,7 µg/m<sup>3</sup>) e i valori sono molto meno dispersi che non all'interno (CV 16,1% *vs* 53,9%). Inoltre, la concentrazione di NO<sub>2</sub>, monitorata all'interno delle abitazioni durante la stagione estiva, è risultata mediamente più bassa in presenza di una frequente aerazione della cucina rispetto a un'aerazione scarsa (36,9 µg/m<sup>3</sup> *vs* 39,1 µg/m<sup>3</sup>). Nei mesi invernali invece, nelle abitazioni dove l'abitudine ad aerare la cucina era più frequente, si sono registrati valori medi di concentrazione più elevati (54,0 *vs* 52,9 µg/m<sup>3</sup>). Infine è emersa una discreta correlazione tra le concentrazioni indoor e outdoor (R<sub>Spearman</sub> = 0,379; p <0,01).

**La concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> e le fonti di variabilità.** La concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> è pari a 45,2 µg/m<sup>3</sup> all'interno delle abitazioni e a 41,5 µg/m<sup>3</sup> all'esterno (tabella 1).

Si sono ricercate eventuali fonti di variabilità per l'NO<sub>2</sub>



all'interno delle abitazioni. È emerso che la presenza del forno a gas incrementa la concentrazione di NO<sub>2</sub> in modo statisticamente significativo. La presenza di una caldaia a fiamma libera o a ventilazione forzata sembrerebbe non modificare la concentrazione di NO<sub>2</sub> all'interno delle abitazioni, anche se in quest'ultimo caso i valori sono leggermente più elevati laddove non esiste la caldaia a «tenuta stagna» (tabella 2). Contrariamente a quanto atteso le concentrazioni di NO<sub>2</sub> sono inferiori quando è presente uno scaldabagno o boiler per l'acqua calda, anche se la differenza non raggiunge la significatività statistica (tabella 2). L'utilizzo della cappa di aspirazione quando si cucina si accompagna a valori più bassi di concentrazione (tabella 2), mentre in presenza di una «fiamma pilota» costantemente accesa i livelli sono lievemente più elevati (45,7 µg/m<sup>3</sup> vs 44,7 µg/m<sup>3</sup>; F= 0,006, p= 0,939): in nessun caso le differenze sono rilevanti.

La presenza di un numero più elevato di apparecchi a gas non sembrerebbe portare a differenze statisticamente significative nelle concentrazioni di NO<sub>2</sub>, sebbene si noti un aumento di concentrazione al crescere del numero di apparecchi a gas presenti tra le mura domestiche (tabella 2).

Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> indoor non hanno un andamento crescente o decrescente in funzione dell'altezza dal suolo della cucina (dove è stata effettuata la rilevazione). Al contrario si osserva un trend crescente in funzione del piano per la concentrazione outdoor (p= 0,090).

Interessante è la relazione con la tipologia della strada situata di fronte alla finestra della cucina. La concentrazione di NO<sub>2</sub> tanto indoor quanto outdoor è più elevata se l'abitazione è collocata nei pressi di una strada principale rispetto a una laterale o a un'area pedonale, ma le differenze sono significative solo nel caso delle concentrazioni outdoor (p= 0,003) (figura 2).

In tabella 3 sono riportati i risultati dell'analisi multivariata per stimare gli effetti indipendenti dei fattori indagati. L'aerazione della cucina, il numero di apparecchi a gas presenti nell'abitazione e la concentrazione di NO<sub>2</sub> esterna sono le uniche variabili esplicative che rimangono nel modello finale quando tra le esplicative è introdotta la concentrazione di NO<sub>2</sub> esterna all'abitazione (modello A). La concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor diminuisce del 4% nel caso di scarsa frequenza di aerazione della cucina a parità degli altri fattori indagati, mentre aumenta del 67% per ogni incremento unitario nella concentrazione di NO<sub>2</sub> esterna e del 9% in presenza di 3 o più apparecchi a gas. Se nel modello B l'inquinamento esterno è misurato con la variabile surrogato «tipologia della strada», la concentrazione di NO<sub>2</sub> è associata con la ventilazione della cucina (decremento del 4% nel caso di scarsa ventilazione), con la presenza di una strada laterale (decremento dell'8%) o di un'area

pedonale (decremento del 9%). Si ha invece un aumento nella concentrazione di NO<sub>2</sub> quando sono presenti 3 o più apparecchi a gas (9%). Non è stato purtroppo possibile aggiustare gli effetti per la variabile «stagione» dal momento che si è utilizzata come variabile di risposta la concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> stimata sui due periodi di rilevazione.

### Discussione

Dai risultati è emerso che i valori più elevati di concentrazione di NO<sub>2</sub> sono quelli all'interno delle abitazioni (~45 µg/m<sup>3</sup>) piuttosto che quelli all'esterno delle stesse (~42 µg/m<sup>3</sup>). In particolare si nota che il livello di NO<sub>2</sub> outdoor registrato supera i limiti soglia per la protezione della salute umana (media annua 40 µg/m<sup>3</sup>) stabiliti nel 2000 dall'OMS.<sup>15</sup> Si è inoltre osservato un trend stagionale di questo inquinante, come già noto dalla letteratura, con concentrazioni più elevate durante la stagione invernale rispetto a quella estiva tanto per l'indoor quanto per l'outdoor.

Andando poi a vedere come le due concentrazioni (indoor e outdoor) si comportavano nelle diverse stagioni è stato evidenziato che durante l'estate i valori indoor erano sensibilmente più elevati di quelli outdoor, mentre in inverno la tendenza è risultata opposta. Interessante anche il dato relativo alla sola concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor in funzione dell'abitudine dei soggetti ad aerare la cucina durante il suo utilizzo.

In inverno la concentrazione di biossido di azoto entro l'abitazione è più elevato di quello esterno, ma se si valuta quanto possa influire l'abitudine ad aerare allora sembrerebbe sconsigliabile farlo frequentemente poiché in tal caso la concentrazione di NO<sub>2</sub> è maggiore di quanto si osserva in relazione a una scarsa aerazione. In altre parole sembra che, in inverno, l'abitudine ad aerare la cucina si trasformi in una via accessoria di accumulo di tale inquinante entro le abitazioni. Il fatto che le diverse abitudini riguardo all'aerazione determinino un incremento di NO<sub>2</sub> indoor solo in inverno è riconducibile ai livelli molto elevati che tale inquinante raggiunge nell'ambiente esterno nella stagione invernale a causa degli impianti di riscaldamento in attività e dell'elevato numero di veicoli circolanti. Allo stesso modo, le inferiori concentrazioni di NO<sub>2</sub> indoor evidenziate in estate sono spiegabili con il fatto che nel periodo estivo il non utilizzo dei riscaldamenti e la minore intensità del traffico veicolare abbattano notevolmente la concentrazione esterna di NO<sub>2</sub> che quindi penetra in misura minore all'interno delle case.

La presenza del forno a gas è risultata, tra le fonti di variabilità di NO<sub>2</sub> indoor, l'unica associata in modo significativo a una più alta concentrazione. Dalla letteratura si evince che la sorgente principale di biossido di azoto è il fornello a gas (rapportato al fornello elettrico).<sup>16,17</sup> I la-

Apparecchi a gas		n.	NO <sub>2</sub> indoor (media±ds) µg/m <sup>3</sup>	test significatività
forno a gas	si	20	53,3 ± 21,4	F= 7,766; p= 0,007
	no	68	42,8 ± 13,1	
caldaia a fiamma libera	si	65	45,5 ± 17,2	F= 0,003; p= 0,955
	no	23	44,3 ± 11,3	
caldaia a ventilazione forzata	si	10	43,1 ± 12,8	F= 0,162; p= 0,688
	no	78	45,5 ± 16,3	
boiler a gas	si	5	39,9 ± 14,3	F= 0,792; p= 0,376
	no	83	45,5 ± 16,0	
n. apparecchi a gas	1	5	42,9 ± 7,3	F= 2,194; p= 0,118
	2	63	43,5 ± 13,4	
	3	19	52,3 ± 22,6	
<b>aerazione</b>				
utilizzo cappa	si	83	45,0 ± 16,3	F= 0,541; p= 0,464
	no	5	47,6 ± 4,5	
aerazione cucina	frequente	36	48,3 ± 18,7	F= 2,448; p= 0,121
	raro	52	43,0 ± 13,3	

vori citati si riferiscono però a realtà ben diverse da quella italiana, nella quale il fornello a gas è utilizzato nella quasi totalità delle case come il presente lavoro conferma. La minore concentrazione emersa in presenza della caldaia a ventilazione forzata è spiegabile con il fatto che tali caldaie sono a «tenuta stagna», con conseguente man-

La differente concentrazione di NO<sub>2</sub> in relazione all'utilizzo di una cappa di aspirazione quando si cucina sono in accordo con quanto dimostrato in un precedente studio.<sup>9</sup> Molto interessante è il dato relativo alla variazione di concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor in relazione all'inquinamento esterno misurato con l'indicatore surrogato «tipo di strada

Variabili	categoria	β	NO <sub>2</sub> indoor (µg/m <sup>3</sup> )		p-value
			means ratio	IC 95%	
<b>modello A</b>					
aerazione cucina	frequente		1		
	raro	-0,04	0,96	0,91 - 1,01	0,088
NO <sub>2</sub> outdoor		0,51	1,67	1,25 - 2,22	0,001
apparecchi a gas	1 apparecchio		1		
	3 o più apparecchi	0,09	1,09	1,02 - 1,16	0,009
<b>modello B</b>					
aerazione cucina	frequente		1		
	raro	-0,04	0,96	0,91 - 0,130	
tipo di strada	principale		1		
	laterale	-0,09	0,92	0,83 - 1,01	0,086
	pedonale	-0,09	0,92	0,83 - 1,00	0,050
apparecchi a gas	1 apparecchio		1		
	3 o più apparecchi	0,09	1,09	1,02 - 0,014	

Il *means ratio* è il rapporto tra la media geometrica della concentrazione di NO<sub>2</sub> di ogni categoria analizzata vs quella di riferimento. Nel caso di variabile esplicativa continua l'MR esprime la variazione sulla variabile di risposta per ogni cambiamento unitario della variabile esplicativa continua. L'MR si ottiene esponenziando il coefficiente di regressione.

Tabella 3. Effetti indipendenti delle fonti di variabilità sulla concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor (trasformata logaritmicamente) determinati mediante regressione lineare multipla espressi come *means ratio* (MR). Sono riportati due modelli diversi, aventi come variabile di risposta la concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor: il modello A ha tra le esplicative l'inquinamento outdoor stimato con la concentrazione NO<sub>2</sub> outdoor (n. 88; R<sup>2</sup> adjusted= 0,20); il modello B ha tra le esplicative l'inquinamento outdoor stimato con la variabile surrogato «tipologia della strada» (n. 88; R<sup>2</sup> adjusted= 0,11).

Table 3. Independent effects of sources of variability on NO<sub>2</sub> concentrations: results by multiple regression analysis, based on log-transformation for NO<sub>2</sub>. In model A, NO<sub>2</sub> outdoor concentration is among X-variables: n. 88, adjusted R<sup>2</sup>= 0,20; in model B, «type of street» is among X-variables: n. 88; R<sup>2</sup> adjusted= 0,11). The *means ratio* is the ratio of geometric mean in the given category vs the reference category. In case used continuous X-variables the MR is a ratio of Y-values per unit change in X.

Tabella 2. Differenze nella concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor in base alle possibili fonti di variabilità.

Table 2. Indoor nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) concentrations by sources of variability.

cata diffusione dei prodotti della combustione all'esterno. Erano invece inaspettati i valori di concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor più bassi osservati in presenza di un boiler a gas; l'attesa, infatti, era di trovare valori più elevati come evidenziato nel lavoro di Battistini e colleghi.<sup>18</sup>

La differente concentrazione di NO<sub>2</sub> in relazione all'utilizzo di una cappa di aspirazione quando si cucina sono in accordo con quanto dimostrato in un precedente studio.<sup>9</sup> Molto interessante è il dato relativo alla variazione di concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor in relazione all'inquinamento esterno misurato con l'indicatore surrogato «tipo di strada presente all'esterno della finestra della cucina». La concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor laddove il traffico è maggiore (strada principale) è più elevata che in presenza di strade a traffico minore. Questo ci permette di sottolineare quanto importante sia l'influenza del traffico sui livelli di inquinamento anche entro i luoghi confinati e non solo nell'ambiente esterno; quanto ritrovato è inoltre in linea con il lavoro di Cyris e colleghi.<sup>9</sup>

Molti lavori hanno dimostrato che la variabilità nella concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor è influenzata sia dal numero di apparecchi a gas presenti nell'abitazione sia da altre variabili quali l'abitudine ad aerare i locali e la collocazione dell'abitazione in una zona a traffico elevato;<sup>16,17</sup> queste osservazio-

ni sono in accordo con quanto emerge dall'analisi dei nostri dati. Dall'analisi multivariata si evince quanto siano rilevanti i contributi delle fonti esterne sui livelli di concentrazione di NO<sub>2</sub> indoor, sia che questi vengano direttamente rilevati sia che vengano stimati da variabili surrogato, spesso più facilmente determinabili. I due modelli sono del tutto sovrapponibili, tanto per la dimensione dell'effetto stimato quanto per i fattori che alla fine risultano contribuire alla concentrazione di biossido di azoto all'interno delle abitazioni.

Ciò ci porta a concludere che per descrivere la concentrazione di NO<sub>2</sub> all'interno delle abitazioni l'uso di indicatori costruiti sulla sola presenza/assenza di apparecchi a gas usati per cucinare/riscaldare potrebbe essere insufficiente e che si deve necessariamente tenere in considerazione anche altri fattori come l'abitudine ad aerare e l'influenza dell'inquinamento outdoor dovuto al traffico veicolare.

I risultati emersi da questo lavoro presentano però il limite di aver esaminato solo la casistica di uno dei centri di ricerca partecipanti allo studio ECRHS che è, come detto inizialmente, uno studio multicentrico.

Un secondo limite è la quota elevata di soggetti non rispondenti (49,57%). La scarsa adesione alla fase ambientale dello studio è risultata al di sopra di ogni previsione. Una possibile spiegazione del rifiuto potrebbe essere quella dell'eccessivo impegno e del coinvolgimento richiesto al partecipante che diventava responsabile della gestione in loco della rilevazione. A questo proposito è stata effettuata una valutazione per capire se i non rispondenti presentassero caratteristiche diverse dai rispondenti; si è rilevato che, sebbene tra i non rispondenti ci sia una quota maggiore di femmine (51,72% vs 39,83%; p= 0,068), l'età media sia più bassa (43,7±6,3 anni vs 45,3±6,9 anni; p= 0,066) e il numero di anni dedicati all'istruzione sia inferiore (media: 12,1±0,4 anni vs 13,1±0,5 anni; p= 0,082), non si ritiene che ciò possa costituire un bias di selezione in quanto le differenze non sono significative. Inoltre nemmeno i problemi respiratori hanno influito sui tassi di rispondenza: i non rispondenti sono risultati distribuiti senza differenze rilevanti tra coloro che hanno/non hanno riportato sintomi respiratori (risultati disponibili su richiesta).

### Conclusioni

Quanto emerso, seppur con i limiti sopra citati, evidenzia il fatto che i livelli di esposizione a NO<sub>2</sub> in ambiente domestico sono considerevoli. Si rende necessario ora valutare gli effetti che tale esposizione ha sulla funzionalità e sui disturbi respiratori. A tal fine le analisi saranno este-

se a tutto il campione italiano. I risultati completi permetteranno inoltre di stimare l'effetto dell'esposizione a biossido di azoto a livello domestico su un campione della popolazione del Nord Italia.

Conflitti di interesse: nessuno

### Bibliografia

1. Moroni M. Indoor air quality and occupational health, past and present. *G Ital Lav Ergon* 2004; 26(4): 353-363.
2. Neas LM, Dockery DW, Ware JH, Spengler JD, Speizer FE, Ferris BGJ. Association of indoor nitrogen dioxide with respiratory symptoms and pulmonary function in children. *Am J Epidemiol* 1991; 134: 204-219.
3. Hasselblad V, Eddy DM, Kotchmar DJ. Synthesis of environmental evidence: nitrogen dioxide epidemiology studies. *J Air Waste Manage Assoc* 1992; 42: 662-671.
4. Keller MD, Lanese RR, Mitchell RI, Cote RW. Respiratory illness in households using gas and electricity for cooking. I. Survey of Incidence. *Environ Res* 1979; 19: 495-503.
5. NRC (National Research Council). *Indoor pollutants*. National Academy Press, Washington DC, 1981.
6. Jarvis D, Chinn S, Sterne J, Luczynska C, Burney P. The association of respiratory symptoms and lung function with the use of gas for cooking. *Eur Respir J* 1998; 11: 651-658.
7. Shima M, Adachi M. Effect of outdoor and indoor nitrogen dioxide on respiratory symptoms in schoolchildren. *Int J Epidemiol* 2000; 29: 862-870.
8. Lee K, Yanagisawa Y, Spengler JD. Classification of house characteristics based on indoor nitrogen dioxide concentrations. *Environ Int* 1995; 21(3): 277-282.
9. Cyrus J, Heinrich J, Richter K, Wolke G, Wichmann H-E. Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Hamburg (west Germany) and Erfurt (east Germany). *Sc Tot Environ* 2000; 250: 51-62.
10. Schindler C, Ackermann-Liebrich U, Leuenberger P et al. (SAPAL-DIA). Associations between lung function and estimated average exposure to NO<sub>2</sub> in eight areas of Switzerland. *Epidemiol* 1998; 9(4): 405-411.
11. Advisory group on the medical aspects of air pollution episodes. *Oxides of nitrogen. Third report*. HMSO, London, 1993.
12. Burney PGJ, Luczynska C, Chinn S, Jarvis D. The European Community Respiratory Survey II steering committee. The European Community Respiratory Survey II. *Eur Respir J* 2002; 20: 1071-1079.
13. Burney P, Luczynska C, Chinn S, Jarvis D. The European Community Respiratory Health Survey. *Eur Respir J* 1994; 7(5): 954-960.
14. Carolei A, Marinoni A, De Marco R. *Il progetto ECRHS 2000 in Italia*. Collana Quaderni di Epidemiologia, vol. 27. Goliardica Pavese, Pavia, 2002.
15. WHO Regional Office for Europe. *Air Quality Guidelines. Second edition*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (DK), 2000.
16. Kogevinas M, Antò JM, Sunyer J, Tobias A, Burney P. The risk of asthma attributable to occupational exposures. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 137-143.
17. Neas LM, Dockery DW, Ware JH, Spengler JD, Speizer FE, Ferris BGJ. Association of indoor nitrogen dioxide with respiratory symptoms and pulmonary function in children. *Am J Epidemiol* 1991; 134: 204-219.
18. Battistini A, Sansebastiano G, Zoni R, Pessina V, De' Munari E. Asthma and indoor NO pollution due to combustion processes (heating and gas for cooking). *IJP* 2000; 26: 302-313.