



CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA
RISCALDAMENTO
REFRIGERAZIONE

Inquinamento indoor e patologia respiratoria

C. Meloni, C. Grassi

1. DEFINIZIONE, LIMITI ED ATTUALITÀ DELL'INQUINAMENTO "INDOOR"

Numerose sono le definizioni adottate per l'inquinamento atmosferico.

Nell'ambito della presente trattazione, in riferimento alle finalità perseguite, riteniamo che la più adeguata possa essere la seguente: "qualsiasi alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'aria, determinata sia da variazioni di concentrazioni dei suoi normali costituenti che, e soprattutto, dalla presenza di sostanze estranee alla sua composizione normale, in grado di determinare effetti di danno e/o molestia all'uomo ed altri organismi viventi".

Ottenuta la definizione di inquinamento, rimane ora da stabilire cosa debba intendersi per "indoor" o meglio e più propriamente quale possa essere il campo di azione o la sfera di applicazione del termine.

Nel suo significato letterario "indoor" comprende tutto ciò che è interno (cioè dentro la porta) in contrapposizione ad "outdoor" (esterno).

Seguendo questa definizione, il campo di azione dell'inquinamento indoor dovrebbe estendersi a tutti i luoghi confinati adibiti sia alla dimora che al lavoro e allo svago.

Una siffatta interpretazione risulta essere troppo estensiva e comunque non adeguata non tenendo conto sia delle modalità di esposizione alle sostanze inquinanti aerodisperse nei diversi ambienti confinati, come, e soprattutto, del tipo ed entità dei soggetti esposti al rischio espositivo.

Prof. Cesare Meloni, Ordinario di Igiene dell'Università di Pavia

Prof. Carlo Grassi, Ordinario di Tisiologia dell'Università di Pavia

In analogia ai principi adottati anche in altri settori della sanità pubblica riteniamo che proprio quest'ultimo aspetto, e cioè la tipologia dei soggetti esposti al rischio, possa rappresentare la discriminante più adeguata al caso specifico.

Cosicché nei casi in cui il rischio espositivo sia limitato solo a categorie di soggetti ben definiti (rischio professionale od occupazionale) non si applica la definizione di "indoor" anche se presente e rilevabile in ambiente confinato.

Laddove, invece, il rischio di esposizione può interessare tutta la popolazione, o parte estesa di essa, l'attribuzione "indoor" risulta essere corretta anche se riferita oltreché a quelli di vita anche ad ambienti confinati di lavoro. È questo il caso, ad esempio, degli uffici e/o servizi pubblici o comunitari (banche, scuole, uffici, mezzi di trasporto) che, pur costituendo luoghi di lavoro, sono tuttavia aperti all'intera popolazione od a fasce più o meno estese di essa che possono soggiornarvi per periodi di tempo più o meno lunghi.

Adottando questo criterio i luoghi confinati comprensibili nella terminologia "indoor" risultano essere quelli indicati nella tabella I.

Così definito, l'inquinamento "indoor" non rappresenta certamente un fenomeno nuovo, almeno per i cultori della prevenzione.

Oggetto di attenzione da parte dell'igiene fin dal suo esordio, costituì il settore di studio privilegiato dalla scuola tedesca che, fin dalla seconda metà del diciannovesimo secolo con Pettenkofer, ne precisò gli aspetti principali. Ripreso negli anni '40 in coincidenza con l'adozione su scala commerciale di mezzi più efficienti di ventilazione artificiale, ha subito, poi, un periodo di stasi apparente, fino ad acquisire,

tabella I - campo di applicazione del termine "indoor" (tipologia di ambienti confinati)

Abitazioni

Uffici e/o servizi pubblici (uffici, banche ecc.)

Strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi)

Strutture destinate ad attività ricreativa e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, impianti sportivi coperti ecc.)

Mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treni, aerei, navi)

in questi ultimi anni, una nuova prorompente attualità.

Il motivo dell'apparente stasi di interesse verificata nel periodo 1950-1980 è da ricercare nella insufficienza dei mezzi tecnici disponibili, in particolare nel settore analitico, che non consentivano l'individuazione e la valutazione quantitativa delle sostanze inquinanti presenti negli ambienti confinati di vita.

Esse, infatti, pur essendo presenti, come vedremo in seguito, in una vasta gamma di varietà qualitative, risultano, in genere, abbastanza contenute quantitativamente, sì da richiedere, per una loro esatta valutazione, l'uso di apparecchiature analitiche di elevata sensibilità.

La disponibilità di tali apparecchiature, che solo da pochi anni ha raggiunto una adeguata diffusione, ha rappresentato pertanto il principale fattore condizionante il freno precedente e la vigorosa ripresa di sviluppo attuale delle ricerche nel settore.

A questo motivo se ne è aggiunto, in questi ultimi anni, un secondo di grande rilievo nell'accrescere l'attualità dell'inquinamento "indoor". Il miglioramento delle opere di coibentazione, suggerite dalle esigenze di risparmio energetico, hanno ridotto notevolmente le possibilità di ricambio d'aria negli ambienti confinati, con conseguente accumulo, in essi, delle sostanze inquinanti dovute alle attività antropiche.

Per completare il quadro deve aggiungersi, infine, che l'aria esterna, sempre più contaminata soprattutto nei grandi centri urbani e nelle zone ad alta industrializzazione, non consente più una adeguata riduzione delle sostanze inquinanti presenti negli ambienti confinati anche nei casi in cui gli scambi interno/esterno si verificano in cadenze ottimali.

Da tutto ciò è derivato un progressivo incremento del livello di inquinamento degli ambienti interni, con conseguente aumento di interesse per il problema sia in ambito scientifico, sia operativo, con particolare riferimento agli organismi di sanità pubblica, che vedono oggi nel controllo dell'inquinamento "indoor" uno degli interventi più efficaci a tutela della salute umana.

Non si può ignorare, infatti, come una larga fascia di popolazione che vive in città è costretta a trascorrere sino all'80-90% del suo tempo in ambiente confinato, e come tale proporzione divenga anche superiore per le categorie più deboli come i bambini, gli anziani e gli ammalati.

In queste condizioni la presenza nell'aria di sostanze dotate di potere tossico e persino cancerogeno, sia pure in esigua quantità, assume un rilevante significato nel condizionare il mantenimento delle condizioni ottimali di benessere.

2. PRINCIPALI SORGENTI DI INQUINAMENTO "INDOOR"

Qual è l'origine delle sostanze inquinanti presenti negli ambienti confinati?

Nella figura 1 sono indicate, in forma schematica, le principali sorgenti degli inquinanti "indoor". Esse sono riportate in maggior dettaglio nelle tabelle IIa e IIb. Come appare chiaramente dall'esame delle tabelle indicate, l'origine delle sostanze inquinanti normalmente presenti negli ambienti confinati può essere duplice. Esse possono cioè essere prodotte



FIGURA 1
Raffigurazione schematica delle principali sorgenti di inquinamento domestico

tabella IIa - origine e tipologia degli inquinanti presenti nell'aria di ambienti confinati (inquinamento indoor)

A - Inquinanti prodotti all'esterno degli ambienti confinati

Processi di combustione	SO ₂ ; SO ₃ ; NO _x ; CO; polveri totali e respirabili
Reazioni fotochimiche	Ozono (O ₃); perossidi
Traffico autoveicolare	Sali metallici (Pb, Mn) anioni inorganici; HCl-H ₂ SO ₄ ; composti organici lineari (esano, ottano, nonano); poliaromatici (I.P.A.)
Emissioni industriali	Composti di varia natura in relazione al tipo di processo produttivo, alla qualità delle materie prime utilizzate, alle modalità operative adottate ed alle caratteristiche dell'impianto di bonifica eventualmente installato
Uso di solventi di origine petrolchimica, processi naturali, evaporazione di solventi e/o di combustibili	Composti organici con struttura molto varia
Alberi, erbe, fiori	Pollini

all'esterno e penetrare negli ambienti confinati con gli scambi che avvengono attraverso le aperture, gli infissi e le pareti dei muri; oppure derivare dalle attività che si svolgono all'interno degli ambienti stessi, soprattutto se di tipo domestico.

Le prime derivano principalmente dall'attività degli impianti di combustione domestica ed industriale e dal traffico autoveicolare e costituiscono la base dell'inquinamento ormai ampiamente diffuso in tutti i centri urbani, soprattutto nelle zone più industrializzate.

Quelle prodotte all'interno delle abitazioni sono a loro volta suddivisibili in due diversi sottogruppi:

- a) derivanti dall'attività e/o dalla presenza dell'uomo;
- b) cedute dai materiali di costruzione e dagli oggetti d'uso.

Al primo sottogruppo appartengono:

- i prodotti di combustione per la cottura di alimenti;
- gli inquinanti presenti nel fumo di tabacco;
- le sostanze liberate dai processi metabolici;
- i composti presenti nei prodotti per l'igiene personale e la pulizia dell'ambiente;

tabella IIb - origine e tipologia degli inquinanti presenti nell'aria di ambienti confinati (inquinamento indoor)

B - Inquinanti prodotti o derivati da processi di cessione all'interno degli ambienti confinati

1) Inquinanti derivati dall'attività dell'uomo e/o dalla sua presenza

Combustione per cottura di alimenti	CO; CO ₂ ; NO _x ; polveri
Fumo di tabacco	CO; CO ₂ ; NO _x ; polveri fini; ossidi metallici; formaldeide; composti organici vari (I.P.A.)
Processi metabolici	CO ₂ ; riduzione del tenore di O ₂ ; ammoniacca; composti ammoniacali a bassa soglia olfattiva
Prodotti per l'igiene personale	Composti organici volatili (C.O.V.); composti clorurati; ammoniacca

2) Inquinanti derivati dall'ambiente fisico (inquinanti ceduti all'aria ambiente dai materiali di costruzione e/o dagli oggetti)

Terreno e/o rocce sottostanti la costruzione	Radon
Schiume isolanti a base di urea-formaldeide, colle, adesivi, fibro-resine, legno compensato materiali per arredamento rinforzati (pannelli), tessuti per arredo, carte per arredo, prodotti per le piante, prodotti cosmetici	Formaldeide (HCHO)
Evaporazione da acqua potabile, plasticizzanti, solventi, vernici, detersivi, resine, colle, benzine, olii	C.O.V. quali benzene, stirene, tetracloroetilene, diclorobenzene, cloruro di metilene
Pesticidi, fluidi per trasformatori, termicidi, fungicidi	Idrocarburi clorurati, D.D.T.
Materiali isolanti	Asbesto
Resti di insetti vari, acari, batteri, funghi, virus, pollini	Composti infettivi; allergici irritanti

- eventuali altre sostanze inquinanti trasportate, con gli abiti dagli ambienti di lavoro.

Tra tutte queste sostanze emerge per livello di pericolosità il ruolo del fumo di tabacco, con il suo rilevante contributo di sostanze irritanti, tossiche e cancerogene (tab. III). Da ricordare, in proposito, anche il ruolo del fumo passivo, attraverso il quale, soprattutto all'interno di ambienti confinati, viene indotta una consistente esposizione "coatta" a numerose sostanze tossiche fortemente pericolosa per soggetti, come i bambini, in fase di accrescimento.

Agli inquinanti derivanti dall'ambiente fisico (materiali da costruzione ed oggetti d'uso) appartengono, infine:

- il radon ed alcuni suoi prodotti di decadimento, riconosciuti come sicuri cancerogeni per l'uomo. Questi radionuclidi sono naturalmente presenti nel suolo, nell'acqua e nelle rocce e pertanto presenti, da sempre, anche all'interno delle abitazioni. A causa della impermeabilizzazione degli intonaci e della maggior tenuta degli infissi richieste dalle esigenze del risparmio energetico, hanno tuttavia incrementato la loro presenza potendo raggiungere, come vedremo in seguito in maggior dettaglio, in particolari circostanze livelli di emissione radioattiva di gran lunga superiori a quelli dell'ambiente esterno;

- la formaldeide, altro inquinante dotato di potenziale capacità cancerogena, presente e liberato da schiume isolanti, tessuti e carte per arredo, legno compensato, prodotti per le piante e cosmetici;

- composti organici volatili, quali benzene, stirene, tricloroetilene, liberati per evaporazione da acqua potabile, vernici e detergenti;

- asbesto, altro potente cancerogeno, derivante dai materiali isolanti;

- numerosi composti ad azione infettiva ed allergica presenti, soprattutto, in materiale di origine vegetale.

tabella III - principali sostanze tossiche e/o dannose presenti nel fumo di tabacco (quantità per sigaretta in ng)

A) Sostanze tossiche		
Nicotina		0,1 - 20
Alcaloidi minori		0,01 - 0,2
Acido claidrico		30 - 200
Monossido di carbonio		2 - 20
B) Sostanze irritanti per l'epitelio ciliare e/o alveolare		
Fenoli		10 - 20
Cresoli		10 - 150
Formaldeide		20 - 90
Acroleine		25 - 140
Acetaldeide		18 - 1400
Ossidi di azoto		10 - 600
Ammoniaca		10 - 150
C) Sostanze cancerogene		
Benzo(a)pirene	(IT)	8 - 50
5-Metilcrisene	(IT)	0,5 - 2
Benzo(i)fluorantene	(IT)	5 - 40
Benzo(a)antracene	(IT)	5 - 80
Dibenz(a,i)acridine	(IT)	3 - 10
Fluorantene	(CoC)	50 - 250
Benzo(g,h,i)perilene	(CoC)	10 - 80
N-Nitrosornicotina	(C)	100 - 250
B-Naftilamina	(C)	0 - 25
Altre amine aromatiche	(C)	? -
Polonio-210	(C)	0,03 - 1,3
Composti dei nichel	(C)	10 - 600
Composti del cadmio	(C)	9 - 70
Arsenico	(C)	1 - 25
Dimetilnitrosoamine	(C)	1 - 200
Etilmetilnitrosoamine	(C)	0 - 10
Dietilnitrosamine	(C)	0 - 10
Nitrosopirrolidina	(C)	2 - 42
Idrazine	(C)	24 - 43
Uretano	(IT)	10 - 35
Formaldeide	(CoC)	20 - 90

IT = Iniziatore
C = Cancerogeno
CoC = Cocancerogeno

3. CARATTERISTICHE QUALI-QUANTITATIVE DELLE SOSTANZE INQUINANTI FINO AD ORA RINVENUTE IN AMBIENTE CONFINATO

Nella tabella IV sono elencate le sostanze inquinanti aerodisperse fino ad ora rinvenute all'interno di ambienti confinati diversi tra loro ma tutti rientranti nella sfera di applicazione dell'"indoor" così come definito in premessa.

A fianco di ciascun composto sono riportati i valori di concentrazione rilevati, ripresi dalla più recente letteratura di settore.

Per una più immediata comprensione dell'analisi del fenomeno nell'ultima colonna della tavola sono indicati, infine, per le sostanze per le quali sono disponibili, i valori limite ammessi nell'aria esterna dall'E.P.A.

L'esame dei dati consente di rilevare, in primo luogo, come le sostanze potenzialmente presenti negli ambienti confinati siano molto numerose (oltre 30) ed in concentrazione talvolta di gran lunga superiore a quella ammessa per esposizioni di lunga durata.

tabella IV - tipologia e concentrazione riscontrata di sostanze inquinanti in ambienti confinati (inquinamento indoor)

Tipo di inquinante	Concentrazione rilevata $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valori limite ammessi per aria esterna E.P.A. $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Polveri totali	10 + 1000	75,0 - 260,0 •
Polveri respirabili	100 + 700	
Ossido di carbonio (CO)	5000 + 100.000	1000 - 40000 • •
Biossido di azoto (NO ₂)	200 + 1000	100
Anidride solforosa (SO ₂)	n.d. - 15,0	80 - 365 •
Formaldeide	20 + 1300	150
Asbesto	1,0 fibra/cm ³	
Ozono (O ₃)	40 + (400 Aerei, uffici)	235 •
Radon e prodotti di degradazione	0,1 + 30 nCi/m ³	
Anidride carbonica (CO ₂)	5,4 x 10 ⁶	
Nicotina	1 + 35	
Acetone	48,0 (sala lettura con circa 400 persone)	7000 (24h)
Acetaldeide	9,0 ~	
Acido butirrico	54,0 ~	
Alcool etilico	42,0 ~	
Alcool metilico	64,0 ~	1500 (24h)
Alometani • cloruro metilene • cloroformio	12,0 0,4	50000 (24h)
Alcoetani • 1.2 dicloroetano • 1.1.1 tricloroetano	2,0 5,1	2000 (24h)
Cloroetileni • tricloroetilene • tetracloroetilene	2,1 9,0	5000 (24h)
Idrocarburi aromatici • Benzene • Toulene • Etilbenzene	19,0 44,0 9,7	
I.P.A.	L.V.	
Piombo	L.V.	
Manganese	L.V.	
Onde elettromagnetiche	L.V.	
Microorganismi	L.V.	
Allergeni (pollini, residui vegetali e animali)	L.V.	

Note:

- Valore minimo: media geometrica annuale
Valore massimo: 24h
- • Valore minimo: non superabile per più 8h/anno

- Valore massimo: non superabile per più 1h/anno
- Valore massimo: da non superare più di 1h per 1 volta all'anno
- L.V. - Valori limitati e variabili

Le concentrazioni particolarmente elevate non sono, ovviamente, riscontrabili in tutti gli ambienti confinati bensì circoscritte solo ad alcuni casi ed in occasione di circostanze particolari. Ciò non sminuisce, tuttavia, il loro ruolo in riferimento ai probabili effetti di danno derivabili alla salute umana. Un esempio in tal senso è rappresentato dall'ozono che, all'interno degli aerei, può raggiungere in alcuni casi concentrazioni molto superiori a quelle consigliabili, anche per esposizioni di breve durata. Ora è pur vero che volare non costituisce un accadimento usuale della vita quotidiana.

È però altrettanto vero che, in primo luogo, l'uso dell'aereo si va sempre più diffondendo con interesse di tutte le classi sociali e di tutte le età della vita. Così come esso può costituire un'evenienza frequente per chi, per motivi di lavoro, è costretto a lunghi e continui spostamenti. In questi casi, pertanto, il rischio da ipotetico diviene reale con apprezzabili probabilità di derivazione di effetti di molestia se non di danno.

Oltre all'ozono, altri quattro composti si segnalano per la loro probabile presenza in concentrazioni superiori ai valori limite consigliati e cioè: l'ossido di carbonio; il biossido di azoto; la formaldeide ed il radon.

A questi cinque composti riteniamo utile dedicare, più avanti, una trattazione più estesa.

Con la sola eccezione di pochissimi composti, le concentrazioni "indoor" risultano sempre superiori a quelle "outdoor", come appare dall'esame della tabella V.

Ciò conferma come le attività che si svolgono all'interno di ambienti confinati costituiscano una rilevante ed autonoma sorgente di inquinamento, con conseguente incremento della contaminazione, peraltro già presente in discreta misura, nell'aria esterna.

In riferimento, infine, al meccanismo di azione prevalente dei numerosi composti costituenti l'inquinamento "indoor" essi sono suddivisibili, come appare in tabella VI, nelle seguenti quattro categorie:

- composti ad azione irritante, con attività prevalente sull'apparato respiratorio;
- composti ad azione tossica, con attività sull'intero organismo;
- composti ad azione sensibilizzante, con attività prevalente sull'apparato respiratorio;

- composti dotati di attività cancerogena, con prevalente attività sull'apparato respiratorio.

Pertanto, con l'esclusione della sola categoria di composti ad azione tossica generale, tutti gli altri inquinanti svolgono la loro azione prevalente sull'apparato respiratorio; come era logico, del resto, prevedere in considerazione della loro via di introduzione nell'organismo.

tabella V - rapporto di concentrazione stimata di alcune sostanze inquinanti tra l'aria interna ed esterna agli ambienti confinati

Tipo di inquinante	Rapporto di concentrazione indoor/outdoor
Anidride solforosa	<1
Ozono	<1
Piombo e manganese	<1
Calcio, cloro, cadmio	<1
S.O.V.	<1
Pollini	<1
Tutte le altre sostanze inquinanti CO, CO ₂ , NO ₂ , polveri sospese, pesticidi, formaldeide, asbesto, I.P.A., mercurio, radon, C.O.V., onde elettromagnetiche, microorganismi, alcuni allergeni vegetali ed animali	>1

tabella VI - suddivisione dei principali inquinanti indoor per tipo di azione prevalente

Ad azione prevalentemente irritante:
polveri sospese, anidride solforosa, biossido di azoto, ozono, formaldeide, fenoli, cresoli, ammoniaca, acroleine

Ad azione prevalentemente tossica:
ossido di carbonio, nicotina, piombo, manganese, alometani, aloetani, cloroetileni, onde elettromagnetiche ecc.

Ad azione prevalentemente sensibilizzante:
pollini, residui vegetali ed animali, fibre sintetiche

A probabile o sospetta azione cancerogena:
asbesto, radon, idrocarburi policiclici aromatici, formaldeide ecc.

4. CONSIDERAZIONI BIO-TOSSICOLOGICHE RELATIVE ALLE CINQUE SOSTANZE INQUINANTI DI MAGGIORE RISCONTRO IN AMBIENTI "INDOOR"

L'esame dei dati finora considerati ha consentito di rilevare come, tra tutte le possibili sostanze inquinanti che possono essere rinvenute all'interno di ambienti confinati, cinque si distinguono nettamente per i livelli di concentrazione che possono raggiungere, in alcuni casi nettamente superiori a quelli ammessi per esposizioni di lungo termine.

Ciò stante abbiamo ritenuto utile esaminare in maggior dettaglio queste cinque sostanze in riferimento, soprattutto, alle loro principali caratteristiche biotossicologiche; si da poterne dedurre una previsione, sia pure di larga massima, dei possibili effetti derivabili alla salute umana.

I parametri di riferimento utili allo scopo sono riassunti nella tabella VII ove sono riportati, per ciascuna delle cinque sostanze in studio: i valori di concentrazione riscontrati all'interno di ambienti confinati; i valori limite per l'aria esterna definiti dall'E. P.A. statunitense; le massime concentrazioni in corrispondenza delle quali sono stati rilevati effetti di danno e/o molestia nell'uomo e negli animali.

Questi ultimi dati sono stati desunti da un'analisi accurata della più recente e qualificata letteratura di settore.

Sulla base di questi parametri saranno di seguito sviluppate alcune sintetiche considerazioni su ciascuna delle cinque sostanze in oggetto.

4.1. Biossido di azoto

Derivando dai processi di combustione per la cottura dei cibi e/o per il riscaldamento (stufe a gas ecc.) ma anche, e soprattutto, dal fumo di tabacco, può raggiungere all'interno di abitazioni, uffici e mezzi di trasporto concentrazioni di gran lunga superiori a quelle ammesse.

L'esame della tabella VIII consente di rilevare, infatti, come in concentrazioni superiori a $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si possa avere, per esposizioni a lungo termine, un aumento dei sintomi e/o dei disturbi respiratori nei bambini. Tale concentrazione può essere superata in molti ambienti confinati soprattutto se frequentati da forti fumatori. Il ruolo del fumo risulta essere, infatti, preminente nell'incrementare il livello di esposizione all' NO_2 , così come appare in tabella IX.

4.2. Ozono

In corrispondenza di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tab. X) incominciano a comparire disturbi, sia pure di lieve entità. Tale concentrazione può essere superata in alcune circostanze particolari, come ad esempio all'interno di cabine di aerei ad alta quota. Rifacendoci alle considerazioni esposte in precedenza si ricorda come questo rischio espositivo, sia pure di breve durata, stia divenendo sempre più esteso per la consistente diffusione d'uso del mezzo aereo da parte della popolazione.

tabella VII - concentrazioni rilevate in ambienti confinati, valori limite ammessi e valori soglia di effetti per alcuni inquinanti indoor

Tipo di inquinante	Concentrazioni riscontrate all'interno di ambienti confinati $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore limite ammesso per l'aria esterna $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Minima concentrazione in corrispondenza della quale sono stati rilevati effetti sull'uomo e/o sugli animali $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto (NO_2)	200 - 1000	100	350
Ozono	40 - 400 (Aerei, Uffici)	235*	200
Formaldeide	20 - 1300	150	200
Ossido di carbonio	5000 - 100000	1000 - 40000**	~ 50000
Radon	0,1 - 30 nCi/ m^3	/	1 nCi/ m^3

* Valore massimo: da non superare più di 1 h per 1 volta all'anno

** Valore minimo: non superabile per più di 8 h in un anno

Valore massimo: non superabile per più di 1 h in un anno

tabella VIII - biossido di azoto (NO₂)

Concentrazione	Effetti osservati
A - Esposizione di breve durata	
> 540 µg/m ³	Aumento reversibile della resistenza respiratoria in animali da esperimento
1500-3000 µg/m ³	Aumento reversibile della resistenza respiratoria in un campione di adulti sani
B - Esposizioni di lunga durata	
≤ 100 µg/m ³	Nessun effetto rilevabile sia sugli uomini che sugli animali
≥ 350 µg/m ³	Aumento dei sintomi e/o dei disturbi respiratori dei bambini

tabella IX - livelli di esposizione a biossido di azoto in alcune situazioni di vita comunitaria

A) <i>Aria ambientale esterna</i> Concentrazione media consigliata Dose di esposizione giornaliera	100 µg/m ³ 1800 µg/die
B) <i>Aria di un locale riscaldato con una stufa a gas</i> Concentrazione media Dose di esposizione giornaliera	800 µg/m ³ 15300 µg/die
C) <i>Fumo di una sigaretta</i> Concentrazione media Dose di esposizione giornaliera: Per un fumatore di 10 sigarette Per un fumatore di 20 sigarette	200-600 µg/sigaretta (150-226 µg/m ³) 2000-6000 µg/die 4000-12000 µg/die

tabella X - ozono

Concentrazione	Effetti osservati
Espos. di breve durata (µg/m ³) 200	Sensazione di fastidio: irritazione nasale ed alla gola
1000 - 2000 2000 - 20000	Difficoltà di respiro e tosse Mal di testa, accelerazione del polso, dolori diffusi
30000 - 40000	Dose letale per alcuni animali

4.3. Formaldeide

Anche la formaldeide, in alcune particolari situazioni come ad esempio all'interno di roulotte costruite con materiale aggiunto a schiuma isolante e formica, può raggiungere concentrazioni da 2 a 3 volte superiori a quella minima in corrispondenza alla quale si incominciano ad avvertire disturbi, sia pure lievi (tab. XI).

Il rischio espositivo della formaldeide non è comunque da correlare ai possibili effetti derivabili da esposizioni acute (di breve durata), quanto al supposto potere cancerogeno che la formaldeide sembra svolgere. In questa prospettiva le concentrazioni anche modeste rinvenibili in ambiente confinato assumono ovviamente un rilevante significato (tab. XII).

tabella XI - formaldeide

Concentrazione	Effetti osservati
Espos. di breve durata (µg/m ³) 200 - 2500	Irritazione oculare, lievi effetti neurologici
6000 - 36000	Marcata irritazione delle vie aeree superiori
6000 - 120000	Edema polmonare in animali
> 120000	Morte degli animali da esperimento

tabella XII - concentrazioni di formaldeide rilevata in ambienti confinati in rapporto al materiale usato per la costruzione

Tipo di materiale usato per la costruzione	Concentraz. di formaldeide rilevati µg/m ³
Abitazioni costruite con materiale aggiunto a schiume isolanti	35 - 150
Abitazioni costruite senza materiale aggiunto a schiume isolanti	25 - 85
Roulotte	610

N.B. - Le concentrazioni di formaldeide in abitazioni con schiume isolanti si riducono del 50% ogni 2-3 anni

4.4. Ossido di carbonio

Gli effetti di danno esercitato dall'ossido di carbonio sono connessi, come è noto, alla ridotta capacità di trasporto di ossigeno da parte del sangue circolante per trasformare una quota più o meno rilevante di emoglobina in carbossiemoglobina. Ciò determina una ridotta disponibilità di ossigeno per i tessuti con conseguenti manifestazioni di ipossia.

L'entità degli effetti è pertanto direttamente proporzionale al livello di COHb circolante. Il rapporto tra l'entità di ossido di carbonio presente nell'aria ambiente e la quantità di carbossiemoglobina che può formarsi non è stimabile con precisione, essendo condizionata da un discreto grado di variabilità individuale. Ciò rende poco agevole la descrizione degli effetti possibili sulla salute dei soggetti esposti dalla sola conoscenza del valore di concentrazione dell'ossido di carbonio nell'aria ambiente.

Pur con queste limitazioni, tuttavia può dirsi come, in alcune condizioni di vita in ambiente confinato, possono raggiungersi concentrazioni di CO aerodisperso tali da provocare disturbi almeno in soggetti con deficit vascolari già importanti, e comunque in grado di aumentare, sia pure a lungo termine, il rischio di comparsa di cardiopatie ischemiche soprattutto in coloro che già hanno manifestazioni di tipo aterosclerotico (tab. XIII).

tabella XIII - ossido di carbonio

Concentrazione	Livello % di COHb corrispondente	Effetti considerati
Esposizioni di breve durata ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 55000	2,5 - 3	Riduzione della performance fisica in soggetti con <i>angina pectoris</i> e <i>claudicatio intermittens</i>
110000	4,0 - 5,0	Cefalea e sonnolenza in vigili urbani Riduzione della performance fisica in soggetti sani non fumatori
110000+250000	5,0 - 10,0	Diminuzione significativa della percezione visiva e della capacità lavorativa Alterazioni metaboliche miocardiche

4.5. Radon

Rappresentando un elemento naturale di ampia diffusione, è da sempre presente negli edifici ai quali deriva in prevalenza dal suolo e dai materiali da costruzione (fig. 2).

La sua concentrazione negli ambienti confinati è in rapporto alla ventilazione esistente negli ambienti stessi. Come appare dall'esame della figura 3, con porte e finestre chiuse il radon si accumula regolarmente in un appartamento. La sua concentrazione si riduce però notevolmente con la sola apertura delle porte, per avvicinarsi allo zero dopo 5 ore di apertura anche della finestra.

Rappresentando i ricambi d'aria il fattore condizionante il livello di concentrazione interna di radon, il problema è diventato particolarmente acuto ed attuale nel momento in cui, per conseguire il massimo

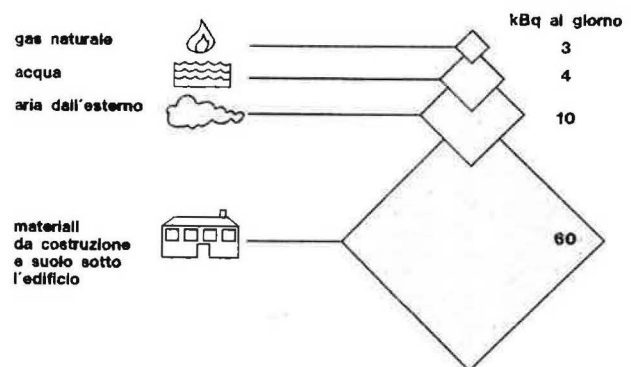


FIGURA 2
Contributo delle sorgenti di radon in una casa

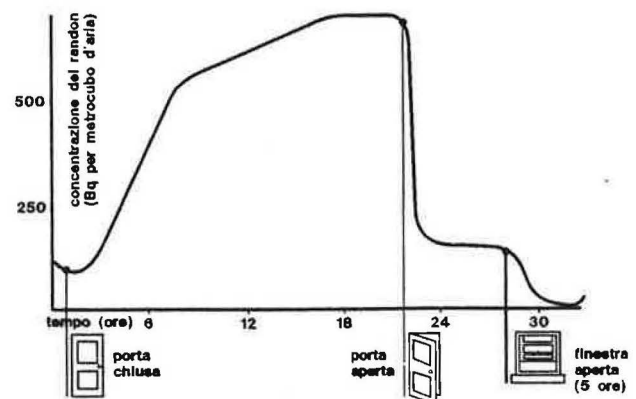


FIGURA 3
Variazioni della concentrazione di radon in un appartamento

risparmio energetico, si sono intensificate le misure di coibentazione degli intonaci e degli infissi. Ciò ha provocato un inevitabile e consistente incremento della concentrazione del radon aerodisperso soprattutto in alcuni ambienti.

Il radon possiede, come molti radionuclidi del resto, un sicuro effetto cancerogeno.

I dati esposti in tabella XIV dimostrano come, in alcuni casi, possano raggiungersi all'interno di abitazioni concentrazioni di radon tali da comportare un incremento di morti per tumori polmonari variabile dal 60 al 200‰ con effetto, cioè, equivalente a quello del fumo di due pacchetti di sigarette.

Nell'interpretazione di questo dato deve comunque tenersi presente che i tempi di esposizione sono in ogni modo molto ridotti, essendo limitati solo ai periodi in cui, per la chiusura di tutte le aperture, si raggiunge il picco massimo di concentrazione.

tabella XIV - radon

Concentrazione (nCi/m ³)	Effetti osservati (Stima di morti in eccesso per tumori polmonari) (per 1000)	Rischio comparabile
1,0	1 - 3	20 radiografie al torace
4,0	13 - 50	200 radiogr. al torace
10,0	30 - 120	
20,0	60 - 200	2 pacch./die di sigarette
40,0	120 - 380	
100,0	270 - 630	
200,0	440 - 770	4 pacch./die di sigarette

5. PATOLOGIA RESPIRATORIA CORRELATA ALL'INQUINAMENTO "INDOOR"

Per molti anni l'interesse e la preoccupazione dei pneumologi sono stati prevalentemente rivolti alla valutazione degli effetti nocivi sull'apparato respiratorio derivanti dagli ambienti di lavoro. Solo successivamente, man mano che all'interno delle fabbriche venivano instaurate precise procedure per limitare e controllare sempre di più le sorgenti inquinanti, l'attenzione è stata spostata sull'inquinamento atmosferico: attualmente esso presenta un volto sempre più minaccioso, riguarda l'intera popolazione compresi i bambini, gli anziani e i soggetti più a rischio e coinvolge tutti gli aspetti della vita umana.

L'apparato respiratorio resta ovviamente il più esposto ma anche gli effetti su altri organi ed apparati diventano sempre più evidenti. Il problema ha ormai assunto aspetti così eclatanti che esso, pur continuando ad essere oggetto di notevole interesse da parte della comunità scientifica internazionale, è diventato principalmente un obiettivo politico, e la ricerca di una sua soluzione rappresenta per la popolazione mondiale la grande sfida del futuro. Ecco allora che, essendo su questo punto almeno in parte esaurita la funzione dei ricercatori internazionali di definizione dei rischi per la salute umana e quella di stimolo e sensibilizzazione sull'opinione pubblica e sugli organismi preposti per la messa a punto di validi sistemi di prevenzione, l'interesse scientifico comincia ad essere rivolto ad alcuni altri aspetti finora trascurati ma sicuramente di grande importanza: ecco quindi che appaiono in letteratura i primi studi sull'inquinamento "indoor". Anche questo tipo di inquinamento, pur interessando molti altri aspetti della salute, coinvolge principalmente l'apparato respiratorio. Abbiamo già dettagliatamente elencato tutti gli inquinanti presenti negli ambienti confinati responsabili di effetti nocivi sull'uomo. I numerosi agenti biologici quali i virus, i batteri, gli actinomiceti, le spore fungine, le alghe, le polveri e le forfore umane e animali possono causare diversi quadri infettivi nel tratto respiratorio, oppure patologie immuno-mediate quali le alveoliti allergiche estrinseche (chiamate anche, secondo la terminologia americana, polmoniti da ipersensibilità). Essi giocano inoltre un ruolo importante nella eziologia dell'asma bronchiale ed in quella delle sue esacerbazioni. Quadri di abbastanza recente identificazione e di estrema importanza legati alla contaminazione ambientale sono: la polmonite, la legionella e le infezioni da aspargilli. Ben noti sono ormai anche gli effetti infiammatori acuti e cronici sulla mucosa respiratoria degli inquinanti, quali l'anidride solforosa, gli ossidi di carbonio, gli ossidi di azoto, le polveri che, prodotti dall'esterno degli ambienti confinati, possono concentrarsi in essi proporzionalmente ai livelli atmosferici. Queste sostanze, che possono essere prodotte anche direttamente nell'ambiente domestico dalla combustione necessaria per la cottura degli alimenti o per il riscaldamento, possono danneggiare il polmone direttamente attraverso le loro proprietà ossidanti o indirettamente aumentando la suscettibilità alle infezioni bronchiali. Esse sono attualmente riconosciute come importanti fattori di rischio nel determinismo delle broncopneumopatie croniche ostruttive. Gli aspetti non ancora completamen-

te chiariti nella loro relazione con l'insorgenza di BPCO sono quelli sostanzialmente legati alla definizione dei livelli delle concentrazioni necessari per indurre alterazioni e soprattutto il loro eventuale sinergismo con altri fattori di rischio quali per esempio l'abitudine al fumo di sigaretta. Per quanto riguarda specificamente gli inquinanti derivanti dai processi di combustione domestica è attualmente in corso una serie di studi di confronto sull'eventuale diversa influenza negativa sull'apparato respiratorio dei vari tipi di combustibili.

Anche riguardo all'inquinamento prodotto dall'abitudine al fumo di sigaretta negli ambienti confinati, definito fumo passivo, molti studi sono stati condotti ed effetti infiammatori sia acuti sia cronici sull'albero respiratorio sono stati spesso evidenziati soprattutto in campioni di bambini. Moltissime indagini, volte alla identificazione delle sostanze nocive sull'apparato respiratorio, sia quindi queste sul fumo passivo che quelle ambientali sugli inquinanti atmosferici che quelle sulle fonti domestiche, sono state condotte su bambini. Essi offrono infatti i migliori modelli di indagine dal momento che vivono molto del loro tempo negli ambienti chiusi, che non sono esposti ad eventuali fonti di inquinamento da sorgenti lavorative e che non si espongono direttamente al fumo di sigaretta. Gli effetti dannosi nei bambini sono poi molto più eclatanti e dunque più facilmente evidenziabili: sono comparsi infatti in letteratura indagini di tipo trasversale che documentano una riduzione dei volumi polmonari ed un aumento di episodi infiammatori bronchiali acuti nei bambini che vivono negli ambienti più inquinati o con entrambi i genitori fumatori rispetto a quelli con genitori non fumatori. Studi longitudinali hanno poi permesso di documentare anche un rallentamento della curva di crescita dei parametri respiratori nell'età evolutiva.

Recentemente molto interesse è stato dedicato anche allo studio dei possibili effetti nocivi della formaldeide dal momento che essa è molto utilizzata in numerosi materiali ed oggetti degli ambienti confinati. Su tale argomento rimangono però a tuttora molte questioni irrisolte riguardanti particolarmente la sua carcinogenicità, la sua azione infiammatoria acuta e cronica sulla mucosa bronchiale ed il suo possibile ruolo nell'eziopatogenesi dell'asma. Anche per questa sostanza, come per tutti gli altri inquinanti, sono infatti conosciuti gli effetti alle alte esposizioni ma non sono invece assolutamente chiari quelli alle basse esposizioni come negli ambienti domestici e negli uffici. Sono quindi necessa-

rie ulteriori indagini di tipo longitudinale da effettuarsi con un attento approccio metodologico sia per quanto riguarda la selezione dei soggetti in studio che per quanto riguarda la raccolta dei dati.

Anche sostanze come il radon e l'asbesto sono state recentemente attentamente valutate per la loro potenziale attività cancerogenetica a livello polmonare. Studi condotti sull'animale hanno confermato che l'esposizione diretta ai derivati del radon determina da sola l'insorgenza di cancro polmonare. I dati disponibili sull'uomo derivano principalmente dai minatori esposti ad alte concentrazioni, mentre gli effetti ai bassi livelli non sono ancora stati ben caratterizzati; anche il tipo di relazione esposizione-risposta tra radon e cancro del polmone non è completamente chiarito, così come non è chiarita la natura della sua interazione con il fumo di sigaretta.

Se si osserva l'andamento dei dati di morbosità e di mortalità delle malattie respiratorie degli ultimi 20-30 anni in tutti i paesi del mondo, risulta evidente il notevole aumento dell'asma bronchiale e delle broncopneumopatie croniche ostruttive oltre che di quello ancor più preoccupante delle neoplasie polmonari e, pur in presenza di dati non ancora completamente esaurienti e probanti, l'accostamento delle sostanze di cui abbiamo parlato diventa estremamente suggestivo.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme dei dati esposti ha consentito di rilevare come, soprattutto in corrispondenza di alcune condizioni e/o attività particolari, possono raggiungersi, all'interno di ambienti confinati, concentrazioni di sostanze inquinanti tali da poter esercitare sicuri effetti di molestia a breve termine e forse di danno, a lungo termine, con particolare riferimento all'apparato respiratorio.

Alcune di queste sostanze sono addirittura dotate di attività cancerogena e quindi in grado, almeno potenzialmente, di contribuire alla evidenziazione di quello che rappresenta oggi il più importante fenomeno sanitario: cioè il progressivo, costante e consistente aumento di incidenza dei tumori maligni.

Il rischio connesso all'inquinamento dell'aria "indoor" è reso, inoltre, viepiù evidente dalla constatazione che una larga fascia di popolazione, con particolare riferimento ai bambini ed agli anziani (cioè ai soggetti più deboli), passa usualmente sino all'80-90% del suo tempo all'interno di ambienti confinati. A tutto ciò deve aggiungersi, infine, che gli effetti dell'esposizione ad agenti inquinanti "in-

door" si sommano comunque a quelli derivanti dall'inquinamento degli ambienti di lavoro e dell'aria esterna presenti, ormai, a livelli di rilevante entità in tutti i centri urbani.

Tutti questi motivi contribuiscono a conferire all'inquinamento "indoor" un ruolo di primo piano sollecitandone, in modo particolare, l'attenzione degli operatori sanitari deputati alla tutela della salute pubblica.

Definito il problema nei suoi limiti attuali, riteniamo utile esaminare, a conclusione di questa breve rassegna, cosa si possa fare per contenerne l'estensione, eliminando o comunque riducendo gli effetti negativi da esso derivabili.

Nel corso della presente trattazione più volte è ricorsa l'affermazione che la riduzione dei ricambi d'aria rappresenta la causa principale del progressivo accumulo di sostanze inquinanti all'interno degli ambienti confinati. Ciò stante l'aumento della ventilazione all'interno degli ambienti stessi, o più precisamente dei loro scambi con l'esterno, sembrerebbe poter rappresentare, almeno in linea teorica, la soluzione più semplice ed efficace. Al momento attuale tuttavia le cose non appaiono essere così semplici. Il consistente grado di inquinamento dell'aria

esterna, presente soprattutto nei grandi centri urbani e nelle zone altamente industrializzate, vanificherebbe in gran parte l'effetto positivo conseguente al ricambio d'aria, reimmettendo in circolo, all'interno degli ambienti confinati, una matrice già fortemente compromessa.

Così stando le cose l'unica soluzione veramente risolutiva risulta essere, a nostro avviso, quella di provvedere al ricambio dell'aria all'interno degli ambienti confinati mediante immissione, attraverso idonei impianti di condizionamento, di aria esterna opportunamente sottoposta a processi di bonifica diversificati in funzione della tipologia degli inquinanti presenti nella zona.

Il condizionamento dell'aria, opportunamente bonificata, dovrebbe rappresentare, pertanto, una pratica altamente raccomandata almeno nei locali e nei mezzi pubblici oltretutto nei complessi abitativi privati di nuova costruzione.

Relazione su invito presentata alla Seduta Plenaria del Convegno Nazionale A.I.CARR "La qualità dell'aria interna per il benessere dell'uomo", Milano, 8-9 marzo 1990.