

1

Ambiente

1.1. Aria atmosferica

1.1.1. Introduzione

L'inquinamento atmosferico rappresenta un problema importante a livello locale, nazionale e transfrontaliero ed è uno dei principali fattori di rischio ambientale e sanitario di origine antropica.

Le tematiche associate alle emissioni di gas serra, al riscaldamento globale e all'impatto del cambiamento climatico – e delle politiche connesse – sulla salute e sull'ambiente sono state discusse durante la 5ª Conferenza Ministeriale su Ambiente e Salute, tenutasi a Parma nel 2010, che ha visto riuniti i Ministri della Salute e dell'Ambiente dei 53 Stati della Regione Europea dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS). Nella dichiarazione finale i Governi si sono impegnati a ridurre entro i prossimi dieci anni gli impatti dell'ambiente sulla salute, anche attraverso la realizzazione di programmi nazionali che offrano pari opportunità entro il 2020 di accedere a una migliore qualità dell'aria e a un ambiente libero da agenti chimici tossici. Tra le diverse sfide sulle quali i Ministri si sono impegnati ad agire vi è lo sviluppo di politiche adeguate in settori quali, per esempio, lo sviluppo urbano e i trasporti. La quota della popolazione mondiale che vive nelle aree urbane è infatti in continua crescita ed è in queste zone che si concentrano elevati livelli di inquinanti atmosferici associati soprattutto alle emissioni veicolari, ma anche alle emissioni industriali. Tuttavia, il grado di conoscenza riguardo alle problematiche poste dall'inquinamento atmosferico è ancora inadeguato, ritardando la corretta

pianificazione e implementazione di misure a tutela della salute pubblica.

Tra i principali contaminanti, anche per le elevate concentrazioni nell'aria urbana, vi sono il particolato atmosferico (PM₁₀, PM_{2,5}), il monossido di carbonio (CO), il biossido di azoto (NO₂) e l'ozono (O₃). Il PM₁₀ e il PM_{2,5}, in particolare, rappresentano gli indicatori sintetici maggiormente impiegati per la stima dell'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico, e sono tuttora tra gli inquinanti più frequentemente associati a una lunga serie di esiti sanitari, che vanno dai sintomi respiratori acuti a effetti cronici quali la mortalità per patologie cardiologiche e respiratorie, tra cui anche il tumore al polmone. Queste associazioni sono verosimilmente dovute anche alla specifica composizione chimica del particolato, che può contenere sostanze sia organiche sia inorganiche, quali idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli, le cui proprietà chimico-fisiche, tossicologiche e, in alcuni casi, cancerogene, le rendono particolarmente pericolose per la salute umana. In aggiunta, pollini e allergeni possono interagire con gli inquinanti atmosferici e amplificare le risposte infiammatorie alla base di molti disturbi respiratori.

Molteplici studi epidemiologici, condotti anche sul territorio nazionale, hanno fornito conoscenze sulla rilevanza dell'inquinamento atmosferico quale determinante ambientale dello stato di salute delle popolazioni residenti nelle aree urbane.

Alla fine del 2010 si è concluso il Programma Strategico Nazionale Ambiente e Salute (finanziato dal Ministero della Salute), fina-

lizzato a valutare l'“impatto sanitario associato alla residenza in siti inquinati, in territori interessati da impianti di smaltimento/incenerimento rifiuti e all'esposizione a inquinamento atmosferico in aree urbane”. Il Programma ha rappresentato il primo esempio di approcci di ricerca multidisciplinare a livello nazionale nel campo dei determinanti ambientali della salute. Tra i sei progetti di ricerca afferenti al Programma Strategico tre hanno riguardato in modo specifico il tema degli effetti sanitari correlati all'inquinamento atmosferico.

I risultati di alcuni progetti di ricerca europei resi pubblici recentemente [Aphekom (*Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe*) ed EBoDE (*Environmental Burden of Disease in European Region*)], alla cui realizzazione l'Italia ha partecipato, direttamente hanno messo in luce l'elevato impatto economico e sanitario dell'esposizione umana ai contaminanti emessi nell'atmosfera.

La necessità di contenere la contaminazione dell'ambiente e dell'aria ha indotto le istituzioni sovranazionali e nazionali a un continuo aggiornamento della normativa di regolamentazione delle attività antropiche e di mantenimento di accettabili standard di qualità. In particolare, con il recepimento delle Direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE attuato negli ultimi anni con i D.Lgs. 152/2007 e 155/2010 sono state accolte, sebbene con ritardo, le indicazioni del mondo scientifico introducendo importanti innovazioni di interesse. Il D.Lgs. 155/2010, in particolare, ha ripreso tutta la normativa inerente la qualità dell'aria ambiente:

- inserisce per la prima volta un valore limite annuale per il materiale particolato $PM_{2,5}$;
- introduce un “indicatore di esposizione media” (IEM), calcolato su stazioni di fondo urbano, la cui distribuzione in zone e agglomerati deve riflettere le variazioni geografiche, l'andamento a lungo termine del $PM_{2,5}$ e l'esposizione della popolazione;
- conferma l'attenzione su specifici microinquinanti, quali arsenico, cadmio, mercurio,

ri, nichel e idrocarburi policiclici aromatici, e sulle loro deposizioni al suolo, intese come indicatori di esposizione umana diversi dalla semplice inalazione.

1.1.2. Rappresentazione dei dati

Rete di misura degli inquinanti atmosferici. In Italia, la fonte di informazioni sullo stato della qualità dell'aria è costituita da 708 stazioni di monitoraggio, 411 collocate in ambiente urbano, 205 in aree suburbane e 92 in zone rurali, che controllano i principali contaminanti sul territorio nazionale secondo la distribuzione della *Tabella 1.1*. Nonostante l'elevato numero di stazioni dislocate sul territorio e sebbene il loro numero sia notevolmente aumentato negli anni, rimangono ancora porzioni del territorio nazionale scarsamente monitorate, che quindi necessitano di un potenziamento delle attività di misura. In particolare, sono le Regioni del Sud (Molise, Campania, Puglia, Basilicata e Calabria) a mostrare le maggiori carenze, possedendo soltanto l'11% delle stazioni totali, mentre il Nord Italia possiede oltre il 50% di tutte le stazioni di monitoraggio.

La qualità dell'aria. L'analisi dei dati disponibili per gli inquinanti di maggiore interesse mostra nel nostro Paese una situazione dell'inquinamento atmosferico piuttosto stazionaria, che conferma, rispetto agli anni precedenti, le criticità rilevate per il materiale particolato PM_{10} , gli ossidi di azoto e l'ozono.

Il PM_{10} , per il quale la normativa conferma valori limiti per la media annuale e giornaliera, rispettivamente, di $40 \mu g/m^3$ e $50 \mu g/m^3$ e un numero massimo di 35 superamenti giornalieri per anno, è stato rilevato in 381 stazioni di monitoraggio (83% del totale), che hanno garantito una copertura temporale minima del 75%. Il limite più stringente giornaliero è stato rispettato dal 52% delle stazioni di monitoraggio, mentre il valore limite annuale dall'87% delle stazioni. L'analisi evidenzia la ben nota criticità delle grandi aree urbane, in particolare

Tabella 1.1. Distribuzione geografica delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale distinte per tipologia e analizzatori (ISPRA, Annuario dei dati ambientali, 2009)

Area geografica	Tipologia stazione per collocazione														
	Urbana					Suburbana					Rurale				
	T	I	F	NC	Totale	T	I	F	NC	Totale	T	I	F	NC	Totale
Nord-Occidentale	49	3	45	0	97	8	12	27	0	47	0	7	20	0	27
Nord-Orientale	66	4	44	0	114	9	21	21	2	53	0	5	25	0	30
Centro	65	3	27	1	96	7	19	13	1	40	0	2	12	0	14
Sud e Isole	77	6	7	14	104	13	37	14	1	65	0	14	7	0	21
Italia	257	16	123	15	411	37	89	75	4	205	0	28	64	0	92

Area geografica	Numero di analizzatori									
	SO ₂	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	NO _x	CO	Pb	C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ -CH ₃	PM _{2,5}
Nord-Occidentale	72	112	80	159	158	97	33	43	26	17
Nord-Orientale	81	108	113	174	161	117	0	29	14	23
Centro	54	112	73	135	136	87	0	45	24	30
Sud e Isole	132	125	82	169	114	117	0	62	46	6
Italia	339	457	348	637	569	418	33	179	110	76

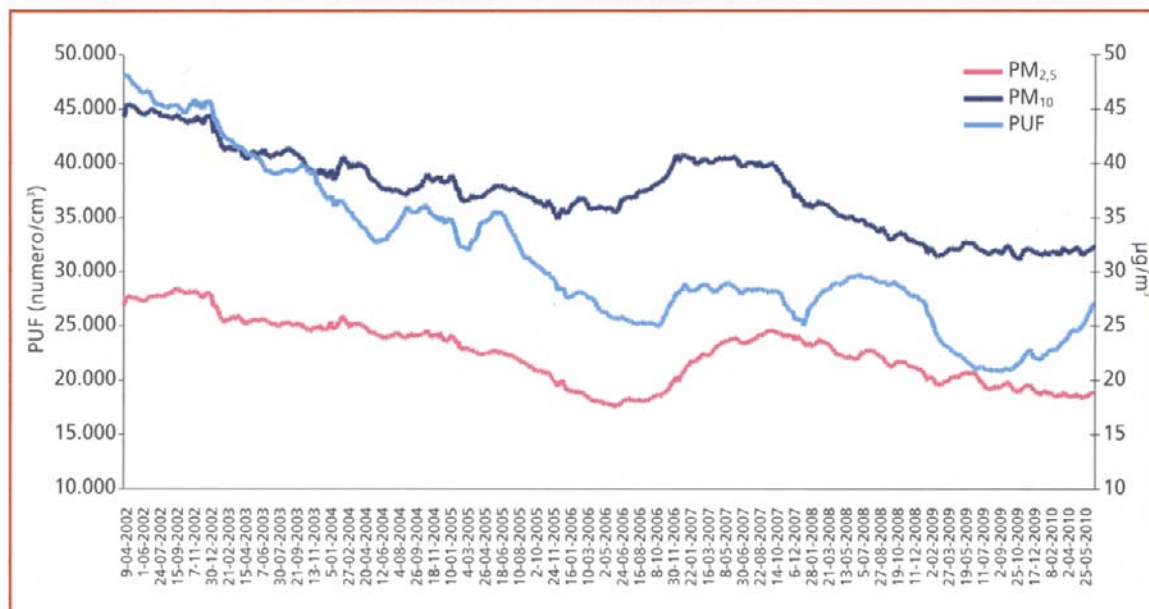
F, fondo; I, industriale; NC, non classificato; T, traffico.

dell'area padana, dove le concentrazioni in aria raggiungono più frequentemente i valori maggiori. Focalizzando l'attenzione sulle macro Regioni, si osserva che il limite dei 35 superamenti non è rispettato dal 73%, 62%, 45% e 20% delle stazioni di monitoraggio rispettivamente localizzate nell'Italia Nord-Occidentale, Nord-Orientale, Centrale, Meridionale e Isole. La distribuzione per collocazione delle stazioni che registrano i superamenti del limite giornaliero fornisce suggerimenti relativamente ai determinanti di tale contaminazione. Nel Nord Italia, per esempio, la distribuzione di dette stazioni non mostra una collocazione fortemente prevalente sulle altre e solo il 42% di esse è collocato in aree urbane; ciò evidenzia un problema di inquinamento su vasta area, determinato dall'azione congiunta dell'alta emissione antropica e delle avverse condizioni meteorologiche che contrastano la dispersione e la diluizione degli inquinanti su larga scala. Diversamente, nel Centro e Sud Italia la collocazione del 77% delle stazioni che registrano superamenti in area urbana testimonia che il principale determinante della contaminazione è identificabile nelle emissioni antropiche.

La stazione di monitoraggio dell'aria dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), impostata per attività di ricerca e di valutazione di metodiche di prelievo e analisi, operante dal 1978 in zona semicentrale e in prossimità di una strada in cui sono stimati circa 25.000 passaggi al giorno tra mezzi leggeri e pesanti, concentrati nei giorni feriali e nel periodo ottobre-giugno. La serie storica dei dati mostra una tendenza della concentrazione giornaliera di PM₁₀ in progressiva diminuzione, registrando una riduzione del 15% circa tra il 2005 e il 2009. Nella stessa stazione, dal 2002 viene rilevata la concentrazione numerica di particelle ultrafini (PUF), una variabile non ancora inserita fra i parametri soggetti a controllo sistematico dalla normativa per la qualità dell'aria. Il legame della concentrazione numerica di PUF con le dimensioni delle particelle, invece che con il loro peso, conferisce a questo parametro un'estrema importanza igienico-sanitaria. La *Figura 1.1*, che confronta le serie storiche delle medie mobili delle concentrazioni numeriche di PUF, del PM₁₀ e del PM_{2,5} tra il 2002 e il 2010, mostra una similitudine generale degli andamenti delle tre variabili.

La concentrazione di NO₂, rilevata dall'87%

Figura 1.1. Medie mobili delle concentrazioni di PUF, PM₁₀ e PM_{2,5} misurate presso la stazione di monitoraggio dell'aria dell'Istituto Superiore di Sanità dal 2002.



delle stazioni del Nord e Centro Italia e dal 72% di quelle del Sud che hanno garantito una copertura temporale minima del 75%, non fa registrare particolari allarmi. La concentrazione limite oraria di 200 µg/m³ è stata rispettata quasi ovunque e solo il 4% delle stazioni ha complessivamente superato il limite orario. Sull'intero territorio nazionale, 33 stazioni eccedono i 18 superamenti annuali della concentrazione limite oraria di 200 µg/m³, consentiti dalla normativa. La concentrazione media annuale di 40 µg/m³, che costituisce il limite suggerito dalla normativa, è stato rispettata dal 71% delle stazioni.

Per l'O₃, 296 stazioni delle 349 forniscono dati con copertura temporale minima del 75% nel periodo di riferimento (aprile-settembre). Il 68% delle stazioni del Nord Italia registra superamenti della soglia di informazione (180 µg/m³), mentre al Centro e al Sud Italia, rispettivamente, il 31% e il 25% delle stazioni superano questo limite.

Le stazioni che registrano superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (120 µg/m³, media massima giornaliera calcolata su 8 h) sono 258 (87%), di cui 165 al Nord, 52 al Centro e 41 nel Sud e Isole. La soglia di allarme (240 µg/m³ 1 h) è superata da 17 stazioni

(5,7%), di cui 12 al Nord, 1 al Centro e 4 nel Sud e Isole.

In questo rapporto si introduce per la prima volta anche una valutazione sulle concentrazioni di materiale particolato PM_{2,5}, il cui monitoraggio sul territorio nazionale, ancora limitato, si dovrà estendere per l'entrata in vigore del già citato D.Lgs. 155/2010. Lo stesso Decreto introduce per la prima volta uno IEM basato sulle misurazioni del materiale particolato fine PM_{2,5}, riconoscendo a questo inquinante un ruolo importante per gli effetti sanitari associati alla sua esposizione. Tale indicatore sarà determinato sulla base della concentrazione media su tre anni civili di misurazioni effettuate su stazioni di fondo urbane. A tal fine, le Regioni si stanno adeguando alla normativa per il monitoraggio e, per il 2008, 67 stazioni distribuite in 10 Regioni hanno trasmesso i dati. Tutte le Regioni del Sud, con esclusione della Campania, non hanno prodotto dati relativamente al PM_{2,5}. Tuttavia, la copertura temporale minima del 75% è garantita da 51 stazioni sulle quali è stata effettuata un'analisi dei livelli di concentrazione. Il limite annuale di 25 µg/m³, che deve essere raggiunto entro l'1 gennaio 2015, al 2008 è stato rispettato dal 73% delle stazioni, mentre il limite aumentato del margine di tolle-

ranza ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato superato da 5 stazioni collocate in Piemonte e Lombardia. Ai fini di una prima valutazione dello IEM, l'analisi delle medie annuali delle concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo urbano evidenzia un superamento del limite in 7 stazioni, equivalenti al 35% delle stazioni di fondo urbano della rete nazionale e pari al 41% delle stazioni attualmente utili a tale stima. A livello europeo è stata effettuata una stima dello IEM, sulla base dei dati riferiti al 2008, che pone l'Italia sopra il valore di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che diventerà vincolante nel 2015. Il benzene è monitorato da 179 stazioni sul territorio italiano; di queste, 129 hanno prodotto dati con una copertura temporale minima del 75%, utile per la valutazione della qualità dell'aria. Al 2008, il limite annuo di riferimento era $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed è stato superato solo da 1 stazione di traffico urbano. Il limite di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che è diventato effettivo dall'1 gennaio 2010, è stato rispettato dal 97% delle stazioni di misura. Per gli ossidi di zolfo (SO_2) si registra una situazione entro la norma su tutto il territorio italiano, a eccezione di alcune aree a elevato rischio di crisi ambientale in Sicilia e Sardegna. Le stazioni che superano il limite orario di $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 5 in Sicilia e 6 in Sardegna, tutte appartenenti alla rete di misura dell'area industriale di riferimento, a eccezione di una, a Siracusa, posizionata in un'area di fondo suburbano. Il numero di superamenti è, comunque, inferiore ai 24 annui consentiti dalla normativa. Il limite giornaliero ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è superato solo da 3 stazioni in Sardegna, anche in questo caso appartenenti a una rete industriale di misura; il numero di superamenti è inferiore ai 3 annui consentiti.

Lo studio degli andamenti degli inquinanti "convenzionali" misurati nella stazione ISS suggerisce che, per poter raggiungere i limiti richiesti dalla legge, l'adozione di una strategia che contempla una serie di azioni integrate, quali la regolamentazione della circolazione, lo sviluppo tecnologico dei motori e dei carburanti e l'utilizzo di combustibili meno inquinanti per riscaldamento, può in parte portare a un miglioramento della qualità dell'aria.

Microinquinanti. Accanto agli inquinanti "convenzionali" emerge l'importanza igienico-sanitaria di altri contaminanti, nella maggior parte dei casi ancora non regolati dalla normativa nazionale, le cui proprietà chimico-fisiche e tossicologiche conferiscono loro una significativa pericolosità per la salute umana, nonostante siano presenti in aria in concentrazioni estremamente basse. Tali contaminanti denominati "microinquinanti" includono alcuni metalli, i composti organici volatili (COV), gli IPA, le policlorodibenzodiossine e policlorodibenzofurani (PCDD/F) e i policlorobifenili (PCB). L'attenzione dedicata a detti microinquinanti induce un crescente numero di iniziative di ricerca e di controllo che, per alcuni di essi, ha prodotto l'identificazione di limiti e "obiettivi di qualità" recepiti nella normativa comunitaria e italiana. Il recente D.Lgs. 155/2010 stabilisce valori da raggiungere come obiettivo entro il 31 dicembre 2012 per arsenico, cadmio, nichel, piombo e benzo(a)pirene, inteso come indicatore degli IPA, riferiti al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM_{10} del materiale particolato. Il monitoraggio di questi inquinanti, che richiede campagne *ad hoc* e specifiche tecniche di prelievo e analisi, è attualmente effettuato in un ridotto numero di stazioni di misura e una stima della loro concentrazione in aria, a livello italiano, non è al momento possibile. Per ovviare a questa carenza e fornire un parziale riferimento al lettore sulla presenza in aria di detti inquinanti si riportano nella *Tabella 1.2* le concentrazioni dei microinquinanti di maggiore interesse igienico-sanitario, nella definizione della qualità dell'aria ambiente, misurate nella stazione di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico dell'ISS. La stazione è localizzata a Roma, in una zona a elevato traffico veicolare privato, concentrato nei giorni feriali e nei periodi scolastici per la presenza di ospedali, enti di ricerca, Università. I mezzi pubblici circolanti nella zona sono prevalentemente su rotaia e ad alimentazione elettrica. Sebbene il rilevamento sia stato effettuato in una stazione di ricerca, e conseguentemente non rispondente ai requisiti

Tabella 1.2. Concentrazioni di alcuni microinquinanti misurati presso la stazione di monitoraggio dell'aria dell'Istituto Superiore di Sanità dal 2005 al 2009 (limiti presenti nel D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Concentrazione media annuale PM ₁₀ (ng/m ³)					Limite annuale/ valore guida	Riferimento
	2005	2006	2007	2008	2009		
Arsenico	0,78	0,78	0,45	0,45	0,61	6,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Cadmio	0,26	0,44	0,24	0,27	0,12	5,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Piombo*	9,5	27	13	8,4	7,0	0,5 µg/m ³	D.Lgs. 155/2010
Nichel	5,1	6,2	8,0	3,7	6,8	20,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
Benzo[a]pirene	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	1,0 ng/m ³	D.Lgs. 155/2010
COV µg/m ³							
Benzene	3,0	2,7	2,5	2,9	2,7	5,0 µg/m ³	D.Lgs. 155/2010
Toluene	12	11	10	10	8,5	260 µg/m ³	OMS
Xileni	4,5	4,0	4,0	4	3,5	-	OMS

* In µg/m³.

COV, composti organici volatili.

normativi per le stazioni di controllo, le osservazioni riportate possono essere considerate una stima delle condizioni di un'area urbana a elevato traffico. Il quadro che emerge è di una sostanziale stabilità nel tempo delle concentrazioni di questi inquinanti che, nella situazione specifica, restano abbondantemente al di sotto dei valori di riferimento per la protezione della salute suggeriti dalla normativa e/o dalle *Air Quality Guidelines* dell'OMS.

I dati epidemiologici. La ricerca epidemiologica sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico è in continua evoluzione. Anche in Italia, negli anni recenti, sono stati pubblicati numerosi lavori scientifici che presentano aspetti innovativi sulla caratterizzazione dell'impatto sanitario soprattutto nelle aree urbane. Nell'analisi degli effetti a breve termine, per esempio, il disegno *case-crossover*, applicato alle analisi di serie storiche, consente di valutare l'associazione fra gli incrementi dei decessi e dei ricoveri causa-specifici e le variazioni nei livelli ambientali di inquinanti atmosferici, tenendo conto dei fattori di suscettibilità della popolazione studiata agli effetti degli inquinanti stessi e di altri fattori di rischio. Un aspetto critico negli studi epidemiologici dell'inquinamento atmosferico è rappresentato dai metodi di stima dell'esposizione, soprattutto di medio e lungo perio-

do. Rispetto all'uso tradizionale di indicatori basati sulle concentrazioni rilevate da stazioni fisse di monitoraggio, vengono recentemente proposti metodi di valutazione basati su modelli spaziali che integrano diverse fonti informative. Appare molto promettente lo sviluppo di modelli di stima su scala sub-urbana per l'assegnazione di livelli di esposizione alle popolazioni di adulti e bambini inclusi in studi di coorte, mirati a valutare gli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico sulla salute. Fra i principali risultati delle più recenti attività di ricerca epidemiologica in Italia si ricordano, innanzitutto, quelli riferiti alla mortalità.

Un'analisi sulla suscettibilità alla mortalità legata all'inquinamento atmosferico (Programma Strategico, Gruppo di lavoro EpiAir), effettuata in 10 città italiane sul periodo 2001-2005, evidenzia una maggiore vulnerabilità delle persone anziane, delle donne e dei diabetici (specialmente fra i soggetti deceduti in casa) ai livelli ambientali di ozono; gli effetti sulla mortalità totale, per cause cardiovascolari e respiratorie, risultano prolungati fino a 5 giorni. Per quanto riguarda il particolato atmosferico (PM₁₀), esso risulta associato a un aumento della mortalità respiratoria, particolarmente nel periodo estivo (7,6% per aumenti di 10 µg/m³ nei livelli di particolato). L'effetto risulta più forte e più persistente (di durata

fino a tre giorni) rispetto a quello sulla mortalità naturale, in particolare fra le donne e i soggetti con patologie croniche. Vivere vicino a strade ad alto traffico è associato a una maggiore probabilità di ammalarsi e di morire per patologie associate all'inquinamento atmosferico, sebbene pochi studi abbiano descritto le principali caratteristiche sociodemografiche delle persone esposte a situazioni ad alto traffico. Un recente studio condotto su circa 1.900.000 residenti nella città di Roma ha rilevato che il 17% delle persone risiede nel raggio di 50 metri da una strada ad alto traffico (> 10.000 veicoli/giorno) e il 14% a una distanza compresa tra 50 e 100 metri. Tali percentuali sono inoltre maggiori quando si considerano le sole persone con età maggiore di 75 anni. Lo studio ha evidenziato una maggiore probabilità di vivere vicino a strade ad alto traffico per le persone con condizioni socioeconomiche medio-elevate o con elevato livello di istruzione. Tale caratteristica è peculiare per la città di Roma a causa della distribuzione spaziale dell'inquinamento (maggiore nelle aree centrali) e delle caratteristiche sociali in varie aree della città.

Uno studio condotto in 8 città italiane sul periodo 1997-2004 ha valutato l'effetto dell'inquinamento sulla morte cardiaca improvvisa. Lo studio condotto su circa 17.000 decessi di persone adulte avvenuti all'esterno dell'ospedale ha mostrato un aumento significativo della mortalità associato al particolato atmosferico (PM₁₀). L'effetto è risultato particolarmente evidente fra i soggetti anziani e socioeconomicamente disagiati.

Un altro studio condotto in 9 città italiane nel periodo 1997-2004 ha analizzato gli effetti dell'esposizione a particolato atmosferico (PM₁₀) sulla mortalità, evidenziando un ruolo della stagione e della temperatura come modificatori di effetto dell'esposizione a polveri fini: per incrementi di 10 µg/m³ nei livelli di PM₁₀ è stato stimato un incremento del 2,5% nella mortalità in estate, a fronte dello 0,2% in inverno (con un effetto più elevato nei giorni più caldi).

Un'indagine multicentrica europea condotta in 5 città, dal 1992 al 2002, su 25.000

soggetti sopravvissuti a episodi di infarto del miocardio ha evidenziato che l'esposizione a inquinanti atmosferici di origine veicolare è significativamente associata alla mortalità giornaliera tra questi soggetti, con un effetto più forte rispetto alla popolazione generale. In particolare, l'effetto è più precoce in relazione al PM₁₀ e alla conta del numero di particelle (1-2 giorni) e più ritardato per il CO e l'NO₂ (5 e 15 giorni). Per quanto riguarda gli effetti sanitari diversi dalla mortalità, un recente studio condotto su 33.000 ragazzi tra i 13 e i 14 anni, residenti in 12 aree italiane distribuite nel Nord, Centro e Sud del Paese, ha evidenziato che i bambini che vivono in aree con intenso traffico sono a più alto rischio di presentare sintomi respiratori. Questo risultato è rafforzato dal fatto che le risposte al questionario sono state validate attraverso fonti informative esterne e controlli di coerenza interna. In generale, i risultati mostrano che l'intensità del traffico, sia di autoveicoli sia di mezzi pesanti, è fortemente associata a sintomi respiratori quali tosse e catarro, e meno ai sintomi asmatici.

Un'indagine condotta a Roma tra circa 2.000 bambini di età compresa tra 9 e 14 anni, selezionati in 40 scuole, ha evidenziato un'associazione fra indicatori di esposizione a NO₂, distanza da strade trafficate ed entità del traffico vicino alla residenza con la funzionalità respiratoria. I risultati rafforzano le evidenze che l'esposizione a inquinanti atmosferici di origine veicolare è associata a un effetto di riduzione dei movimenti respiratori nell'infanzia.

Si ricorda, infine, un recente studio sugli effetti delle polveri fini e ultrafini nella città di Roma, condotto nell'ambito del Programma Strategico Ambiente e Salute. La ricerca effettuata ha evidenziato un effetto immediato (stesso giorno, lag 0) del PM_{2,5} sui ricoveri per sindrome coronarica acuta (compreso infarto del miocardio) e per scompenso cardiaco (incrementi di circa il 2% per un aumento nella concentrazione di 10 µg/m³), mentre l'effetto sulle infezioni delle basse vie respiratorie (2,8%) è risultato ritardato (due giorni, lag 2). La concentrazione del numero di particelle è apparsa

associata con i ricoveri per scompenso cardiaco e per broncopneumopatie croniche ostruttive (BPCO). Gli effetti sono stati in genere più forti nelle persone anziane e durante l'inverno.

Esposizione e valutazione critica dei dati, con eventuali confronti territoriali (regionali o europei). I valori limite della concentrazione di particolato PM_{10} in vigore nel 2005 sono stati superati in diversi Stati membri dell'Unione Europea (UE), compresa l'Italia, soprattutto nelle grandi città, ove risiede la maggior parte della popolazione. I governi nazionali si trovano oggi nella condizione di dover attuare la regolamentazione vigente in materia di inquinamento atmosferico e a riesaminare la legislazione corrente nell'UE nel prossimo 2013. L'inquinamento atmosferico continua dunque a rappresentare una minaccia per la salute in Europa e la comunità scientifica che opera in istituzioni di sanità pubblica concordemente riconosce che ulteriori misure per ridurre il particolato atmosferico si tradurrebbero in guadagni significativi da un punto di vista sia sanitario sia economico. In questo quadro, i risultati dei recenti progetti multicentrici europei forniscono nuovi e importanti strumenti di valutazione. Lo studio Aphekom, che ha interessato circa 39 milioni di persone residenti in 25 grandi città europee, è incentrato sulla valutazione dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico e fornisce stime sui costi sanitari e sociali di una mancata riduzione dei livelli di inquinamento atmosferico nei Paesi dell'UE. Utilizzando i tradizionali metodi di valutazione di impatto sulla salute (VIS), Aphekom ha mostrato che la diminuzione fino a $10 \mu g/m^3$ nella concentrazione del particolato $PM_{2,5}$ (livello annuale stabilito dalle Linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS), può comportare un aumento fino a 22 mesi di aspettativa di vita nelle persone di età > 35 anni residenti nelle 25 grandi città studiate, evitando circa 19.000 decessi per anno, di cui più di 15.000 dovuti a malattie cardiovascolari. I benefici economici risultanti dalla conformità ai valori guida dell'OMS ammon-

terebbero a circa 31,5 miliardi di euro annui, compresi i risparmi sulle spese sanitarie, le assenze sul lavoro e i costi intangibili quali il benessere, l'aspettativa e la qualità della vita. Se a Roma, per esempio, la concentrazione media annuale di $PM_{2,5}$ si riducesse a $10 \mu g/m^3$, sarebbe possibile evitare 1278 morti (997 per cause cardiovascolari) e la popolazione di età pari a 30 anni guadagnerebbe un anno di vita, con un beneficio economico superiore ai 2 miliardi di euro. Aphekom ha evidenziato, inoltre, l'impatto a lungo termine sulle patologie croniche derivanti dal risiedere in prossimità di strade ad alta densità di traffico. In particolare, secondo la stima effettuata per 10 città europee, risiedere in prossimità di strade ad alta densità di traffico potrebbe essere responsabile del 15% di asma nei bambini e, verosimilmente, della stessa percentuale, o più alta, di altre patologie croniche comuni negli adulti di 65 anni e oltre, quali le malattie coronariche e polmonari. A Roma, il 23% dei residenti vive a una distanza < 75 metri da una strada ad alto traffico. I risultati dello studio mostrano che l'11% dei casi di aggravamento di asma nei bambini, il 18% di problemi acuti negli anziani affetti da BPCO e il 23% dei problemi acuti negli anziani malati di malattie coronariche possono essere attribuiti al forte inquinamento dell'area di residenza. Questi importanti risultati evidenziano i benefici economici e sanitari derivanti dalla possibile politica sull'inquinamento atmosferico. Tale politica deve essere orientata a quei benefici che potrebbero derivare dalla regolamentazione dell'inquinamento in prossimità di strade ad alta densità di traffico. L'altro progetto europeo che ha fornito stime di impatto sanitario è l'EBoDE, i cui obiettivi hanno riguardato: i) l'aggiornamento dei precedenti studi volti a stimare il carico di malattie dovuto all'esposizione a inquinanti ambientali, individuando alcuni contaminanti più rilevanti per la Regione europea, ii) l'impiego di una metodologia per la stima del carico di patologie armonizzata nei Paesi partecipanti, per renderla disponibile e quindi favorire la futura inclusione di altre Nazioni. Il progetto ha

considerato 9 fattori di rischio ambientale, selezionati in base alla loro rilevanza per la salute pubblica, al potenziale elevato rischio a essi associato, al grado di attenzione nei loro confronti e/o all'elevato impatto in termini economici. Tra questi agenti, il particolato atmosferico (PM_{2,5}) e l'ozono sono stati inclusi considerando i livelli atmosferici come principale fonte di esposizione. Le esposizioni sono state stimate dallo *European Topic Centre on Air and Climate Change* (ETC/ACC) sulla base dei dati *Airbase* e mappe di qualità dell'aria (SOMO35 per l'ozono). La scelta degli esiti sanitari sui quali effettuare le stime è stata guidata dall'analisi costi-benefici effettuata nel progetto europeo CAFE (*Clean Air For Europe*). Il carico ambientale di malattie associato a ciascun fattore di rischio è espresso in *Disability-Adjusted Life Years* (DALY), che è una misura sintetica della salute della popolazione che unisce due indicatori: gli anni di vita persi a causa di morte prematura e gli anni vissuti con disabilità. Un DALY è equivalente a un anno di *vita sana* perso. Questa misura permette di confrontare il carico di malattia tra popolazioni e fattori di rischio diversi. I risultati del progetto mostrano che il particolato atmosferico (usando il PM_{2,5} come indicatore) causa tra 6.000 e 10.000 anni di *vita sana* persi per milione di abitanti l'anno nei sei Paesi partecipanti, con una stima di più di 9.000 anni per l'Italia. Il carico di malattia riguarda effetti quali la mortalità cardiopolmonare, la mortalità per cancro del polmone, la mortalità totale (escluse cause violente), la bronchite cronica (BPCO) e i giorni di attività limitata (*restricted activity day*, Rad). Per quanto riguarda l'ozono, gli effetti sulla salute presi in considerazione nel progetto sono mortalità totale (escluse le cause violente), giorni di attività ristretta (Mrad), tosse e sintomi delle basse vie respiratorie (*lower respiratory symptoms*, LRS) nei bambini di età compresa tra 5 e 14 anni. Nella stima del carico ambientale di effetti sanitari per l'ozono, esso risulta responsabile di una quota compresa tra 40 e 200 anni di *vita sana* persi per milione di abitanti nei 6 Paesi, dei quali circa 140 anni nella popo-

lazione italiana. Le stime del carico sanitario associato all'esposizione ad agenti ambientali rappresenta un utile sostegno nell'allocazione delle risorse disponibili, ma anche nella valutazione dell'efficacia degli interventi di risanamento ambientale e delle politiche di sanità pubblica.

Indicazioni per la programmazione. La revisione 2009 del rapporto delle Nazioni Unite sull'urbanizzazione stima in Italia una percentuale di popolazione residente in aree urbane circa del 68%, con una previsione di crescita annua dello 0,49%; diversamente, per la popolazione rurale il trend sembra essere in diminuzione di circa lo 0,55% l'anno. Le prospettive indicano, quindi, per il 2050 una stima dell'81,2% di popolazione in area urbana. Le città sono pertanto diventate il luogo di maggiore richiesta e uso di energia per i tre specifici settori: elettricità, riscaldamento e trasporto. Il fenomeno dell'intensa urbanizzazione in Italia ha determinato una concentrazione delle attività produttive nelle aree urbane (circa il 70%) e una crescente mobilità della popolazione in tali aree; si stima, infatti, che circa il 60% di tutti gli spostamenti giornalieri venga effettuato in aree urbane. In Europa si stima che la mobilità nelle aree urbane contribuisca con il 40% all'emissione totale di CO₂ e con il 70% per quello che riguarda gli altri inquinanti. Per l'Italia, l'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) ha stimato che il trasporto è responsabile del 31% di tutte le emissioni di CO₂, con il contributo predominante del trasporto su strada (82%).

Anche la Commissione Europea nell'ambito del programma "Verso una strategia tematica sull'ambiente urbano" ha proposto una serie di azioni sul trasporto urbano, tra cui le nuove norme sui veicoli (Euro 5 ed Euro 6), la diffusione di una tassazione differenziata nelle zone ecologicamente sensibili, l'individuazione di aree a emissioni ridotte in cui si applicheranno limitazioni ai trasporti inquinanti.

È quindi indubbio che il problema dell'inquinamento atmosferico interessi principalmente le aree urbane, sia per la defini-

zione di politiche e strategie per la sua riduzione, sia per gli effetti sanitari connessi all'esposizione della popolazione. Tali risultati potranno essere raggiunti e rispettati se integrati nell'ambito di una gestione strategica locale e di lungo termine.

I risultati del progetto Aphekom evidenziano i benefici economici e sanitari derivanti dalla possibile implementazione di politiche di contenimento dell'inquinamento atmosferico. La programmazione dei piani di intervento deve essere orientata, per esempio, a raggiungere i benefici che potrebbero derivare dalla regolamentazione dell'inquinamento in prossimità di strade ad alta densità di traffico. Il progetto Aphekom indirizza verso una maggiore interazione dei diversi attori che partecipano al processo di identificazione delle politiche ambientali e sanitarie; inoltre, sottolinea la necessità di una più efficace comunicazione dei rischi alla popolazione, fornendo informazioni e strumenti nuovi, affidabili e realizzabili, affinché il legislatore possa adottare provvedimenti ancora più adeguati, a livello sia europeo sia locale. Il progetto dimostra che se i livelli di polveri sottili nelle città europee si riducessero ai livelli raccomandati dall'OMS migliorerebbe la speranza di vita e vi sarebbero grandi benefici economici; i risultati mostrano che vivere in prossimità di strade molto trafficate aumenta notevolmente la possibilità di avere malattie attribuibili all'inquinamento atmosferico ed evidenza che i vantaggi nel ridurre l'inquinamento sarebbero superiori a quelli già conseguiti dall'attuale legislazione dell'UE. Da un punto di vista della programmazione, è importante sottolineare che Aphekom ha valutato che l'efficace applicazione della legislazione UE per la riduzione del contenuto in NO₂ nelle emissioni (soprattutto dai veicoli diesel e dal riscaldamento domestico) in 20 città europee ha consentito di prevenire 2.200 morti premature, con un beneficio di circa 192 milioni di euro.

Un recente studio sulle politiche di mobilità attuate dalle amministrazioni locali che partecipano al Progetto EpiAir nel periodo 2001-2007 ha dimostrato che in Italia, nel complesso, le attuali politiche sul trasporto

non sono molto in sintonia con il concetto di mobilità sostenibile. Ciò è dovuto sia all'elevato numero di veicoli per abitanti, sia a diversi elementi che attualmente ostacolano l'attuazione di politiche adeguate. Queste ultime riguardano, per esempio, la mancanza di un approccio integrato per affrontare problemi di mobilità, l'imprecisione e la confusione delle norme che regolano la realizzazione di interventi e, soprattutto, la mancanza di misure di controllo efficaci. Come risultato, gli effetti benefici delle normative del trasporto locale sulla qualità dell'aria nei centri urbani hanno di fatto un effetto ancora limitato.

Le reti di istituzioni e di ricercatori che si sono costituite, a livello nazionale, intorno al Programma Strategico "Ambiente e Salute" e, a livello europeo, intorno ai Progetti Multicentrici costituiscono, al momento attuale, l'esempio dell'approccio collaborativo da percorrere nel prossimo futuro per affrontare al meglio la valutazione dell'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico. Tale sinergia rappresenta, infatti, una risorsa rilevante per lo sviluppo di metodologie e applicazioni innovative nel processo multidisciplinare della valutazione e gestione dei rischi associati alla contaminazione dell'aria atmosferica. Questo approccio analitico potrà fornire un contributo sostanziale allo sviluppo della ricerca in Italia e in Europa e un'adeguata definizione e implementazione di politiche di risanamento ambientale, di contenimento dei fenomeni emissivi di origine antropica e di riduzione dei rischi sanitari a essi associati.

Le stime di impatto sanitario dell'esposizione ad agenti ambientali rappresentano uno strumento importante sia nell'allocazione delle risorse, sia nel processo di valutazione dell'efficacia delle politiche di intervento. In un quadro complessivo, il processo di gestione dei rischi sanitari attribuibili all'inquinamento atmosferico deve tenere conto, oltre che dei benefici provenienti dalla riduzione delle esposizioni (compresi i risparmi sulle spese sanitarie), anche di altri fattori come i costi delle misure di intervento e delle misure che garantiscano l'equità sociale legata a uno sviluppo sostenibile.

Bibliografia essenziale

Berti G, Galassi C, Faustini A, Forastiere F; Gruppo EpiAir. Progetto EPIAIR promosso dal Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM) Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali. Inquinamento Atmosferico e Salute: Sorveglianza Epidemiologica ed Interventi di Prevenzione. *Epidemiol Prev* 2009; 33 (6 Suppl. 1): 1-143

Cattani G, Di Menno di Bucchianico A, Dina D, et al. Evaluation of the temporal variation of air quality in Rome, Italy from 1999 to 2008. *Ann Ist Super Sanità* 2010; 46: 242-53

European Topic Centre on Air and Climate Change. The state of the air quality in 2008. Technical paper 2010/1. The Netherlands: Bilthoven 2010

Hänninen O, Knol A. European Perspectives on Environmental Burden of Disease (EBoDE). Estimates for nine stressors in six countries. Reports 1/2011.

<http://www.thl.fi/thl-client/pdfs/b75f6999-e7c4-4550-a939-3bccb19c41c1>. Ultima consultazione: settembre 2011

ISPRA. Annuario dei dati ambientali 2009

Progetto Aphekom – Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=80d9dfde021d-4674-837e-7960830339cd&groupId=10347. Ultima consultazione: settembre 2011

Progetto EBoDE – Opasnet. Ranking of environmental stressors by health impact in Europe (EBoDE pilot). Environmental Burden of Disease in European Region. <http://en.opasnet.org/w/Ebode>. Ultima consultazione: settembre 2011

Summary report of the Aphekom project 2008-2011. http://www.invs.sante.fr/presse/2011/communique/cp_aphekom_010311/Aphekom_summary_report.pdf. Ultima consultazione: settembre 2011

1.2. Aria indoor

1.2.1. Introduzione

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, per molteplici motivi. In primo luogo, per la prolungata permanenza della popolazione all'interno di tali ambienti; in secondo luogo, i livelli di inquinamento dell'aria indoor sono maggiori rispetto a quelli outdoor per numerose classi di inquinanti e perché il rischio espositivo non è limitato a categorie ben definite (come per il rischio esclusivamente professionale o occupazionale), ma, oltre a interessare una parte estesa della popolazione, risulta di particolare gravità per alcuni gruppi più vulnerabili, che trascorrono negli ambienti chiusi una percentuale di tempo più elevata rispetto al resto della popolazione. Alcuni inquinanti indoor possono provenire dall'esterno e sono legati all'inquinamento atmosferico, ma la maggior parte di essi è prodotta all'interno degli edifici.

In generale, negli ambienti confinati 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. Il rischio di danni per la salute è correlato all'esposizione, ovvero alla concentrazione integrata per il tempo e alla suscettibilità delle persone esposte e molte malattie croniche sono correlate a diversi aspetti dell'*indoor air quality* (IAQ). In Italia, il danno economico e sociale attribuibile all'inquinamento indoor è verosimilmente elevato (Commissione Nazionale per la prevenzione dell'inquinamento indoor DM 8 aprile 1998).

1.2.2. Rappresentazione dei dati

Le principali patologie associate a inquinamento indoor, identificate sulla base dei risultati ottenuti dagli studi condotti a livello europeo negli ultimi venti anni sono: malattie allergiche, asma e disturbi respiratori nell'infanzia, BPCO, infezioni respiratorie (es. legionellosi), tumore del polmone, malattia cardiovascolare, disturbi irritativi e

alterazione del comfort (es. sindrome dell'edificio malato). Le miscele complesse di inquinanti indoor, 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. Nei bambini l'esposizione ad alcuni inquinanti indoor si associa a un maggiore rischio di irritazioni, sintomi respiratori acuti, iper-reattività bronchiale, infezioni respiratorie e sensibilizzazione allergica. Si stima che in Europa l'inquinamento indoor sia responsabile del 4,6% delle morti per tutte le cause e del 31% delle inabilità DALY nei bambini da 0 a 4 anni di età.

È stato dimostrato che le caratteristiche genetiche, lo stato nutrizionale e gli stili di vita possono contribuire a rendere la popolazione più suscettibile. Una gamma di determinanti sociali quali bassa fascia di reddito e livello di educazione, appartenenza a famiglie di disoccupati, di emigranti o di genitori single determina il livello e la frequenza dell'inquinamento indoor e di conseguenza il livello di esposizione. Differenze nella concentrazione degli inquinanti indoor sono a oggi i migliori marcatori delle disuguaglianze sociali nell'esposizione. L'Ufficio Europeo dell'OMS stima che 10.000 bambini, da 0 a 4 anni, muoiono ogni anno in Europa per l'uso domestico di combustibile solido. Le famiglie a basso reddito, per contenere i consumi energetici a causa delle ristrettezze economiche, sono costrette a utilizzare combustibile a basso costo per la cottura dei cibi o per il riscaldamento, con gravi rischi di esposizione a ossido di carbonio e ad altri inquinanti tossici e un maggiore rischio di incidenti domestici. Gli studi europei hanno concluso che nei quartieri dei ceti più bassi le famiglie con problemi di umidità o infiltrazioni sono rispettivamente il doppio o il triplo rispetto ai quartieri dei ceti sociali alti. Coloro che occupano palazzi umidi o con muffe corrono fino al 75% di rischio in più di contrarre sintomi respiratori e asma. Circa il 13% dei casi di asma dei bambini europei è correlabile a un eccesso di umidità negli

edifici. Nelle abitazioni, più della metà dei bambini europei è regolarmente esposta al fumo passivo (*environmental tobacco smoke*, ETS); i bambini provenienti da famiglie a basso reddito sono esposti circa il doppio rispetto ai loro coetanei più ricchi, e ancora di più in automobile.

In Italia, l' NO_2 , tipico inquinante outdoor originato prevalentemente dal traffico veicolare, è uno degli inquinanti più comuni nelle abitazioni, per l'uso pressoché esclusivo di gas, sia per riscaldamento sia per cucinare. Le esposizioni indoor in alcune situazioni possono essere superiori a quelle esterne, con importanti conseguenze sulla salute respiratoria, specialmente dei bambini. La concentrazione media italiana di radon nell'aria è di circa 70 Bq/m³. È stato stimato che sui 31.000 casi di tumore ai polmoni che si registrano in Italia ogni anno il 10% circa è attribuibile al radon (questo dato comprende per la maggior parte fumatori, a causa della sinergia tra radon e fumo, che ne moltiplica gli effetti).

L'esposizione a fumo di tabacco ambientale, formaldeide e altri composti organici volatili, singolarmente o in miscele, è stata associata a un'aumentata prevalenza di sintomi respiratori, suggestivi di asma o diagnosi di asma, in ambito sia domiciliare sia lavorativo. Gli acari della polvere, i derivati di animali domestici e alcuni microrganismi, quali funghi e spore, rappresentano le principali fonti di allergeni indoor. L'inalazione di tali allergeni può indurre, in soggetti sensibilizzati, una rapida risposta infiammatoria, mentre ripetute esposizioni nel tempo possono causare l'insorgenza di asma bronchiale. Un'indagine condotta nel 2002 sulla salute respiratoria di bambini e adolescenti italiani (SIDRIA-2) ha evidenziato che un bambino italiano su dieci soffre d'asma, una frequenza simile o comunque di poco aumentata rispetto ai risultati di un'analoga indagine condotta sette anni prima (SIDRIA-1); per contro, la frequenza di disturbi allergici come la rinite o la dermatite allergica è risultata in preoccupante aumento. L'indagine evidenzia che ancora troppi bambini italiani sono esposti a condizioni ambientali che favoriscono le ma-

lattie respiratorie. Più della metà dei bambini italiani vive in famiglie in cui almeno uno dei genitori è fumatore. Si stima che il 15% dei casi di asma tra i bambini e i ragazzi sia attribuibile proprio al fumo dei genitori. Inoltre, lo studio ha rilevato che la presenza di macchie di umidità o di muffa nella camera in cui il bambino dorme aumenta il rischio di sintomi asmatici. Un piccolo aumento di rischio di malattie respiratorie è stato riscontrato in bambini la cui abitazione è riscaldata con combustibili ad alto potenziale inquinante (legna, carbone, gas in bombole). È emersa, infine, una differenza di frequenza della malattia respiratoria tra i bambini che vivono in strade ad alto traffico di mezzi pesanti e quelli che vivono, invece, in strade lontane dal traffico. Coloro che vivono in prossimità di scarichi diesel hanno una maggiore frequenza di sintomi respiratori e di asma.

A fronte della maggiore suscettibilità dei bambini alle esposizioni indoor, la qualità dell'aria degli ambienti di vita dove i bambini trascorrono più tempo — la casa e la scuola, percepiti come ambienti tra i più "sicuri" — spesso risulta scadente, con gravi rischi per la salute.

Alcuni Paesi europei, in particolare Svezia, Finlandia, Norvegia e Olanda, hanno condotto numerosi studi sulla qualità dell'aria nelle scuole e sulle relative implicazioni sulla salute degli studenti. Già dagli anni Novanta, studi condotti in scuole svedesi hanno dimostrato l'esistenza di una relazione stretta fra asma corrente in bambini e adolescenti ed esposizione a numerosi fattori di rischio indoor negli ambienti scolastici, fra cui presenza di umidità, scarsa ventilazione, elevate concentrazioni di composti organici volatili (inclusa la formaldeide), muffe, batteri e allergeni. Successivamente, altre indagini condotte in scuole del Nord Europa hanno confermato che nelle aule scolastiche possono essere presenti numerosi inquinanti, con conseguenze negative sulla salute degli studenti. In particolare, in diversi edifici scolastici è stata dimostrata la presenza di elevate concentrazioni indoor di CO₂, che è risultato un fattore di rischio per sintomi irritativi delle prime vie respi-

ratorie e per la sindrome da edificio malato; la presenza di muffe o umidità negli edifici è risultata associata a sintomi respiratori e allergici negli alunni esposti. In alcune scuole sono state rilevate concentrazioni significative anche di allergeni indoor del cavallo o del cane, che sono state associate a un aumento della frequenza di fischi respiratori, difficoltà di respiro, asma corrente e allergie. Indagini più recenti hanno evidenziato nell'aria indoor la presenza di concentrazioni significative di composti organici volatili di origine microbica (MVOC) e, specialmente in edifici scolastici di nuova costruzione, anche di elevate concentrazioni di composti come il TMPD-MIB (2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol monoisobutirrato) e il TMPD-DIB (2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirrato), rilasciati dai materiali plastici in PVC, utilizzati più frequentemente per il rivestimento dei pavimenti. Negli studenti esposti a questi composti è stata riscontrata la presenza di sintomatologia respiratoria.

In Italia, a oggi, è disponibile un certo numero di informazioni relative alla sicurezza strutturale degli edifici scolastici, grazie ad alcune iniziative istituzionali come il monitoraggio sulla sicurezza nelle scuole, promosso nel 2001 dal Ministero dell'Istruzione, mentre non vi sono indagini nazionali di rilievo che analizzano gli aspetti igienico-sanitari e di qualità dell'aria degli edifici scolastici e i possibili rischi per la salute degli studenti. Le evidenze più significative derivano da indagini condotte nell'ambito di studi europei, a cui hanno partecipato anche ricercatori italiani. Utilizzando procedure standardizzate comuni, lo studio HESE (*Health Effects of School Environment*) [2004-2005] ha raccolto per la prima volta, su un campione di 21 scuole europee (Italia, Francia, Svezia, Danimarca, Norvegia), informazioni comparabili sull'IAQ (*indoor air quality*), e sulla salute respiratoria di più di 600 scolari. La qualità dell'aria all'interno delle scuole esaminate risultava scadente, in relazione agli inquinanti considerati (PM₁₀, CO₂, muffe e allergeni) e l'alterazione dell'IAQ si associava alla presenza di effetti sulla salute respiratoria dei bambini.

Nel 2008, un altro progetto multicentrico europeo SEARCH (*School Environment And Respiratory Health of Children*), che ha coinvolto Italia, Albania, Bosnia, Erzegovina, Serbia e Slovacchia, ha raccolto i dati relativi a 13 scuole italiane (55 classi frequentate da 939 alunni). Lo studio ha rilevato che più del 50% delle scuole italiane esaminate era antecedente al 1970 e in condizioni igienico-sanitarie non ottimali. Quasi tutte le scuole erano situate in aree con traffico autoveicolare moderato. Nel 70% dei prelievi, le concentrazioni di PM₁₀ all'interno delle aule sono risultate superiori a quelle misurate all'esterno, con valori sempre superiori ai limiti ambientali per esposizioni a breve e a lungo termine in più della metà delle aule monitorate. Nel 94% delle aule si utilizzavano i gessi per scrivere sulla lavagna. In poco più del 50% delle aule si aprivano le finestre durante tutti gli intervalli e nell'11% dei casi soltanto una volta al giorno. All'interno degli edifici scolastici sono stati rilevati livelli di formaldeide più elevati rispetto ai livelli medi riscontrati nelle altre scuole europee (oggetto dell'indagine), sebbene risultassero lontani dai livelli di pericolosità indicati dall'OMS. Il riscontro di condizioni microclimatiche non ottimali rispetto ai parametri relativi a umidità, temperatura e ventilazione era associato a un'elevata concentrazione ambientale di allergeni (acari, muffe, pollini) e di alcuni inquinanti chimici volatili. A fronte di questo quadro, i risultati dell'indagine effettuata su oltre 1000 bambini intervistati hanno evidenziato che quasi il 30% degli scolari soffriva di rinite allergica e il 20% tossiva frequentemente, spesso anche durante la notte (14%). Un'altra delle conseguenze della cattiva qualità dell'aria indoor era l'aumento dei giorni di assenza a scuola.

1.2.3. Esposizione e valutazione critica dei dati

Le scuole, le abitazioni e gli altri ambienti confinati influenzano la salute e il benessere della popolazione più di quanto sia co-

munemente considerato. L'inquinamento dell'aria indoor può causare effetti sulla salute a partire da raffreddore e tosse, problemi respiratori, cardiaci, per arrivare fino a cancro, o causare incidenti per esposizioni acute (es. avvelenamenti da CO).

Rispetto agli adulti, i bambini respirano una maggiore quantità di aria, specialmente nei primi anni di vita, con conseguente aumento dell'esposizione a inquinanti inalabili. Vi è evidenza che l'esposizione a elevate concentrazioni di allergeni negli ambienti interni contribuisce alla persistenza dei sintomi in bambini con asma allergico. Sebbene sia ancora in discussione il ruolo dell'esposizione ad allergeni ambientali nei primi anni di vita nell'indurre lo sviluppo di asma bronchiale, vi è un generale consenso sul fatto che le condizioni ambientali siano cruciali per l'orientamento del sistema immunitario verso una risposta di tipo allergico o meno.

Il riscontro di disturbi respiratori associati a elevati livelli di inquinamento, specialmente da VOC e PVC, sottolinea la necessità di valutare con attenzione le procedure costruttive degli edifici per limitare l'utilizzo estensivo di materiali di costruzione che possono divenire una continua e incontrollata fonte emittente di inquinanti (PVC) e l'utilizzo di prodotti che rilasciano nell'ambiente composti volatili come benzene, toluene, xilene, stirene, terpeni (α -pinene, limonene ecc.), formaldeide e acetaldeide; tali composti possono derivare dall'uso di solventi, detergenti e prodotti utilizzati comunemente per la pulizia delle aule o durante l'uso di fotocopiatrici e stampanti. In tutti i casi segnalati nella letteratura, la sintomatologia descritta può compromettere in modo significativo la qualità della vita dei bambini e la loro performance scolastica. Le indagini in scuole italiane effettuate nell'ambito di progetti europei hanno rilevato un'associazione fra sintomatologia asmatica e alcuni inquinanti indoor più comuni. La riduzione delle esposizioni indoor negli ambienti frequentati dai bambini può quindi contribuire a ridurre la frequenza di questa malattia e la sua evoluzione verso forme gravi. In Italia l'asma, insieme all'obe-

sità, è la patologia cronica più diffusa nell'infanzia e rappresenta una causa importante di mortalità e di ospedalizzazione, nonostante i miglioramenti terapeutici di questi ultimi anni. L'asma infantile può influire negativamente sullo sviluppo psicologico del bambino che ne è affetto, rallenta il processo di apprendimento scolastico e le relazioni con i coetanei, causa la perdita di giorni di scuola ed è causa di assenze dal lavoro per i genitori. L'asma bronchiale nel 1999 è stata riconosciuta come malattia sociale. L'impatto della patologia asmatica sulle attività quotidiane e sulle famiglie è considerevole: i costi indiretti rappresentano il 60% dei costi complessivi, a cui vanno aggiunti i costi "intangibili", in termini di disagio e qualità della vita del paziente. Nel contesto della spesa sanitaria totale, in Italia i costi complessivi dell'impatto economico dell'asma in età pediatrica sono imputabili al 31% a costi diretti derivanti dalle visite di urgenza e dagli accessi al pronto soccorso e nel 19% ai ricoveri, mentre nei costi indiretti rientra il 31% delle assenze scolastiche associate ad asma.

La prevenzione primaria e il controllo dell'asma e delle allergie nell'infanzia si configurano come obiettivi prioritari della *Strategia della Comunità Europea in tema di sanità*. Tale strategia, denominata SCALE [COM(2000)285 def. del 16 maggio 2000] e sviluppata in parte anche nel piano europeo d'azione per l'ambiente e la salute 2004-2010, trova riscontri tangibili nel nuovo Programma d'azione Comunitario nel campo della sanità pubblica (2008-2013). La strategia europea raccomanda misure più ampie volte a migliorare la qualità dell'aria indoor nelle zone residenziali, nei luoghi pubblici (in particolare asili nido e scuole) e sui posti di lavoro e sostiene l'importanza di proteggere la salute dei bambini dalle minacce dell'ambiente, quale investimento essenziale per assicurare un adeguato sviluppo umano ed economico. In occasione della 5ª Conferenza Paneuropea "Ambiente e Salute" (Parma 10-12 marzo 2010), i Ministri della Salute e dell'Ambiente dei Paesi dell'OMS Euro hanno sottoscritto una dichiarazione con

la quale si sono impegnati a sviluppare e promuovere politiche e interventi intersettoriali per ridurre i rischi per la salute da esposizioni negli ambienti indoor, con particolare attenzione alle scuole e a tutti gli ambienti frequentati dai bambini.

Per facilitare la definizione da parte dei Governi europei di Linee guida per migliorare l'IAQ, con particolare attenzione a scuole e abitazioni, e ridurre i rischi per la salute, recentemente l'OMS ha pubblicato due importanti rapporti:

- Linee guida del 2009 "*WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*", 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;
- Linee guida del 2010 "*WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*", 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. Per ogni sostanza sono considerati le sorgenti, i dati tossicologici epidemiologici e i livelli di esposizione che causano effetti sanitari. Il documento è rivolto agli operatori sanitari e alle Autorità coinvolti nella progettazione di edifici e nell'utilizzo di materiali.

Indicazioni per la programmazione. Il Progetto Europeo INDEX (*Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure. Limits in the EU*), promosso dalla *European Commission's Directorate General for Health and Consumer Policy* (DG SANCO), che ha fornito un contributo sostanziale per l'elaborazione delle recenti Linee guida dell'OMS sui principali inquinanti indoor, sottolinea la necessità di colmare il vuoto legislativo esi-

stente in materia di IAQ e di fornire in breve tempo all'Europa un'efficace strategia di prevenzione e un quadro legislativo di riferimento. Gli ambiti prioritari di intervento devono riguardare politiche generali e politiche concernenti alcuni aspetti specifici relativi a costruzione degli edifici, ventilazione, prodotti di consumo, manutenzione degli edifici e comportamenti degli occupanti.

In considerazione dell'evidenza che l'aria outdoor condiziona la qualità dell'aria interna, occorre integrare le politiche sulla qualità dell'aria indoor con quelle dello sviluppo urbano per ridurre l'inquinamento ambientale e progettare edifici a basso consumo energetico. Occorre preferire l'utilizzo di prodotti e materiali da costruzione sicuri per l'ambiente e la salute umana, procedere alla regolamentazione della produzione e utilizzo dei prodotti di consumo, rispettando le regole fissate a livello comunitario di protocolli standardizzati per testare la qualità dell'aria indoor, sviluppare campagne di comunicazione per sensibilizzare l'opinione pubblica nei confronti dei comportamenti volontari corretti e sensibilizzare le famiglie e le istituzioni sull'importanza di proteggere la salute dei bambini.

Per realizzare tale strategia intersettoriale occorre avviare nel Paese un vero e proprio "patto", che impegni le Istituzioni e una pluralità di soggetti a livello centrale e periferico. Il miglioramento della qualità della vita e della salute negli ambienti confinati dipende dalla responsabilizzazione di tutti i soggetti coinvolti e dalla loro capacità di collaborare, in particolare dei cittadini, progettisti, costruttori, ditte interessate alla produzione di materiali e di attrezzature, coloro che sovrintendono alla manutenzione e gestione degli stabili, nonché promuovere il coordinamento di soggetti e realtà operative interne ed esterne al Servizio Sanitario Nazionale (SSN).

A livello nazionale esistono importanti provvedimenti e documenti di indirizzo tecnico elaborati dal Ministero della Salute con il consenso delle Regioni, che forniscono indicazioni valide per attuare un effica-

ce programma di prevenzione negli ambienti indoor. In particolare:

- l'Accordo Stato-Regioni del 27 settembre 2001, recante "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 27 novembre 2001, n. 276 SG, SO n. 252, che rappresenta a tutt'oggi un valido riferimento per realizzare un programma nazionale di prevenzione dei rischi indoor, in linea con le recenti indicazioni europee;
- l'Accordo Stato-Regioni del 5 ottobre 2006, recante "Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 3 novembre 2006, n. 256;
- l'Accordo del 18 ottobre 2010, tra Governo, Regioni, Province Autonome (PA) di Trento e Bolzano, Province, Comuni e Comunità montane, concernente "Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie e asma", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 13 novembre 2011, SG n. 9, focalizza l'attenzione sull'importanza, per la salute dei bambini, delle condizioni di igiene e di qualità dell'aria negli ambienti scolastici. Gli indirizzi proposti delineano un quadro integrato di interventi di prevenzione da realizzare nelle scuole (compresi gli spazi esterni e le mense), volti a limitare il più possibile il contatto dei bambini allergici con i fattori di rischio indoor maggiormente implicati nell'induzione e nell'aggravamento delle allergie e promuovere la realizzazione di ambienti scolastici sani e sicuri per tutta la popolazione scolastica;
- il Piano Nazionale Radon (PNR) per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia da esposizione a radon, avviato dal Centro di prevenzione e controllo delle malattie (CCM) ed elaborato nel 2002, nell'ambito di un sottogruppo della commissione nazionale sull'inquinamento indoor e coordinato dall'ISS, rappresenta un insieme organico e coordinato di azioni volte alla riduzione del rischio radon in Italia (incluse normative,