

ZENIT orizzonti della scienza italiana

La ricerca scientifica è essenziale per il progresso di ogni Paese. In Italia, però, essa soffre per carenza di risorse, di strategia politica, per una debole cultura della scienza e per l'assenza di un vero sistema meritocratico. Eppure i meriti dei nostri scienziati sono riconosciuti in tutto il mondo. Far conoscere i protagonisti italiani della scienza a livello mondiale – nonché le conseguenze culturali, sociali, economiche e ambientali delle loro scoperte – e avvicinare i lettori appassionati e gli studenti ai nuovi orizzonti della scienza è la missione di questa collana, ispirata al principio che per far amare la scienza bisogna far capire chi e come la fa.

Partner dell'Editore è il Gruppo 2003, associazione di scienziati italiani tra i più citati nella letteratura scientifica internazionale che, accomunati da una grave insoddisfazione e preoccupazione per lo stato della ricerca in Italia, da anni ne promuovono il rilancio rivolgendosi al mondo politico, accademico e all'industria, perché convinti che da essa dipenda il futuro del Paese.

Zenit sposa questa convinzione e cercherà di diffondere la cultura scientifica, nella consapevolezza che il bene più prezioso di tutti è la conoscenza.

Pier Mannuccio Mannucci
Margherita Fronte

Aria da morire

I danni dell'inquinamento alla salute
e le buone azioni per ridurre il problema

PREFAZIONE DI
Pier Alberto Bertazzi

Dalai editore

www.bcdeditore.it

© 2013 Baldini Castoldi Dalai *editore* S.p.A. - Milano
ISBN 978-88-6620-816-7

INDICE

Ringraziamenti.....	6
Prefazione. Ambiente e salute, un legame da valorizzare..... <i>di Pier Alberto Bertazzi</i>	7
PARTE PRIMA – L’INQUINAMENTO DELLE CITTÀ	
1. Il mondo intossicato	13
2. I killer dell’aria.....	25
3. Le malattie dello smog	49
4. Le buone azioni per un’aria migliore.....	69
PARTE SECONDA – L’INQUINAMENTO DI CASE, UFFICI E SCUOLE	
5. Nemmeno al chiuso si è al sicuro	101
6. Amianto: l’illusione del materiale perfetto.....	129
7. Radon: il nemico nascosto nelle nostre case.....	159
Bibliografia.....	186

RINGRAZIAMENTI

Molte persone hanno contribuito alla realizzazione di questo testo. Ringraziamo Pier Alberto Bertazzi (Università Statale di Milano, Ospedale Maggiore Policlinico), che ha avuto la pazienza di leggere tutti i capitoli, dando suggerimenti utilissimi su molti aspetti, e Luca Carra (Agenzia Zadig e Italia Nostra) che non ci ha mai fatto mancare il suo supporto. Per la parte relativa all'inquinamento urbano, sono stati fondamentali gli incontri e i fitti scambi di mail con Francesco Forastiere (Asl Roma E), Giovanni Invernizzi (Laboratorio per la Ricerca Ambientale della SIMG) e Maurizio Melis (Radio24). Uno dei temi più complessi da affrontare è stato senz'altro l'amianto; per questo, il nostro sentito grazie va a Benedetto Terracini (Università di Torino) che ha riletto criticamente e con molta attenzione il testo. Per il capitolo sull'inquinamento indoor, ringraziamo Paolo Carrer (Università di Milano), che ci ha fornito una bussola per orientarci fra gli studi e le politiche europee, e Sergio Fuselli (Istituto Superiore di Sanità) per la disponibilità dimostrata. Francesco Bochicchio (Istituto Superiore di Sanità) è stato poi il ricercatore che ci ha fatto capire la rilevanza della questione radon in Italia. Siamo anche grati a Maria Luisa Clementi e Marco Crespi di «Epidemiologia&Prevenzione» per i materiali forniti e per la passione che mettono nel loro lavoro. Desideriamo infine ringraziare Roberto Satolli (Agenzia Zadig) e Andrea Baccarelli (Harvard University) per aver contribuito a farci appassionare ai temi trattati nel libro.

PREFAZIONE. AMBIENTE E SALUTE, UN LEGAME DA VALORIZZARE
*di Pier Alberto Bertazzi**

«*Aer sit mundus, habitabilis, ac luminosus, nec sit infectus, nec olens foetore cloacae...*» raccomandava la Scuola Medica Salernitana, ma a quell'epoca pochi potevano permettersi di scegliere dove abitare. È un po' così anche oggi, è vero, ma con un'importante differenza dovuta non all'idea che l'ambiente – per com'è, per come lo trattiamo e per come lo viviamo – può costituire un rischio per la nostra salute (questa è cosa nota da molto tempo a tutte le culture mediche), ma per la diffusione e condivisione di tale consapevolezza e per la possibilità che ne può derivare di influire, in comune, positivamente, sui rischi ambientali.

Il nostro ambiente è, nel complesso, migliorato rispetto al passato: basti pensare alle generalizzate misure d'igiene o, più di recente, al controllo di molte emissioni industriali e civili. Ciononostante, il problema della nocività ambientale è vivo come non mai. Non c'è contraddizione in ciò? No, anzitutto perché nel tempo sono emersi tipi nuovi di rischi, tra i quali sostanze chimiche di sintesi, utilizzo di materiali radioattivi e strumentazioni radiogene, aree di urbanizzazione incontrollata con scomparsa o decadimento dello spazio verde, incremento esponenziale dei trasporti, in particolare su strada. Poi perché dei rischi del passato

* Professore ordinario di Medicina del lavoro presso l'Università degli Studi di Milano, e direttore del Dipartimento di Medicina della Prevenzione presso il Policlinico di Milano. Ha condotto progetti internazionali con centri europei e statunitensi sui rapporti tra salute umana, ambiente e lavoro.

Prefazione

non sufficientemente controllati, scontiamo adesso le conseguenze sulla salute. Infine, perché sono avvenuti cambiamenti anche nella popolazione come l'innalzarsi dell'età media. Ad esempio, la popolazione che risiede nel comune di Milano ha una vita media più lunga rispetto alla popolazione dell'intera regione, il che è indice di miglior salute. Però, se calcoliamo l'effetto del PM₁₀, a Milano risulta doppio rispetto a quello medio regionale. L'apparente paradosso si spiega con il fatto che in età avanzata si è più vulnerabili agli effetti degl'inquinanti atmosferici. L'impatto dell'inquinamento sulla salute dipende, quindi, anche dalle caratteristiche della popolazione esposta.

I capitoli che seguono trattano con rigore documentativo alcuni dei più importanti e tipici rischi ambientali per la salute. Ciascuno di essi pone l'accento, in modo specifico, su aspetti generali del problema. Ad esempio, l'inquinamento atmosferico documenta la stretta connessione di questi rischi per la salute col tipo di sviluppo economico e sociale in atto. Non sono perciò inevitabili per natura e, infatti, dove si sono prese misure per diminuire l'inquinamento, gli indicatori di salute della popolazione sono migliorati. L'amianto costituisce un capitolo particolarmente doloroso per la vastità e le gravità delle conseguenze dovute al suo utilizzo incontrollato. Un dramma con molte lezioni da apprendere: anzitutto, che le conseguenze di esposizioni attuali possono essere subdole e manifestarsi a molta distanza di tempo; poi che rischi che si pensavano interessare solo l'ambiente di lavoro potrebbero, col tempo, estendersi a interessare l'ambiente in cui vive tutta la popolazione; infine, che la possibile nocività di nuovi materiali, come oggi quelli su scala «nano» già diffusi in moltissime applicazioni, è essenziale sia testata in modo adeguato. Amianto, ancora, e radon sono esempi di fattori di nocività presenti in natura, non di sintesi né artificiali, dei quali non è perciò pensabile disfarsi. Una volta individuata la presenza, esistono tuttavia modi per abitare quegli ambienti (indoor o outdoor) o

Prefazione

quei territori in modo compatibile con la salute. L'ozono e le fonti indoor di contaminazione atmosferica sono meno noti al pubblico ed è utile perciò rimarcarne la rilevanza. Si tratta, nel primo caso, di uno dei più seri fattori di rischio cardio-respiratorio nella stagione estiva e, nel secondo, dell'inquinamento dell'aria degli ambienti nei quali viviamo la maggior parte del nostro tempo (casa e ufficio). Proteggersi per attenuarne gli effetti è possibile, come documentano le puntuale indicazioni nei diversi capitoli.

Una domanda sarebbe legittima a questo punto: ma è tutta colpa dell'ambiente? Va tenuto presente, preliminarmente, che ben poche malattie sono determinate da un unico fattore, che di solito è di natura genetica. La regola è, invece, che ogni malattia ha un'origine multifattoriale, è cioè dovuta all'intrecciarsi di una molteplicità di cause. Può trattarsi di agenti ambientali multipli, come per le numerose sostanze cancerogene contenute nel fumo di tabacco o per il combinarsi di tabacco e amianto o tabacco e radon nel causare tumore polmonare. Esistono anche malattie definite «multigeniche», come diabete e asma, perché hanno alla base alterazioni genetiche multiple. Il caso più comune corrisponde, tuttavia, al combinarsi di una molteplicità di cause genetiche e di cause ambientali il cui intreccio è all'origine delle patologie oggi più frequenti (cardiovascolari, respiratorie, neoplastiche, e altre). Negli anni Settanta e Ottanta del secolo scorso si è posta particolare attenzione alle componenti ambientali causa di alcune malattie, e questo ha portato al riconoscimento di molti agenti tossici e cancerogeni per l'uomo. In seguito, mappato il DNA umano, si è pensato a questa come la strada per mettere in luce le cause di gran parte, se non di tutte, le nostre malattie, ma non era così. Si è rischiato di porre in contrapposizione ciò che invece agisce in collaborazione, cioè la natura (*nature*) – ovvero ciò che di determinato e singolare ci ritroviamo venendo al mondo – e la coltura (*nurture*), ovvero tutto ciò che acquisiamo (dall'educazione agli alimenti) nel corso, breve o lungo, della nostra vita. Una

Prefazione

collaborazione che è messa in luce dalla più recente ricerca sugli aspetti epigenetici dell'interazione tra ambiente e genoma. Si pensava, infatti, che i fattori ambientali potessero agire sul genoma solo alterandone la sequenza codificante, cioè la sequenza delle basi. Si è constatato, invece, che essi possono influenzare l'espressione dei geni semplicemente variando il grado di compattezza della cromatina che è la matassa nella quale si avvolgono le lunghe catene di DNA: se la matassa è molto compatta l'informazione contenuta nel DNA non può essere trascritta in RNA e realizzare le proprie funzioni biologiche con possibili conseguenze patologiche. Non solo l'epidemiologia, dunque, ma anche la più attuale ricerca biologica associa l'ambiente alla salute.

Senza dimenticare un dato d'esperienza comune, ovvero che l'ambiente in cui siamo – inteso nelle sue diverse componenti, chimico-fisica, culturale, economico-sociale e relazionale – determina in modo decisivo il «come ci sentiamo» cioè, in fondo, la nostra salute. Esiste, perciò, anche la possibilità che l'ambiente da fattore di rischio divenga fattore di salute, una possibilità legata, ritengo, non al fatto che lo «lasciamo in pace» ma al fatto che impariamo ad abitarlo con una familiarità che – come ogni familiarità – sia piena di rispetto.

PARTE PRIMA

L'inquinamento delle città



1. IL MONDO INTOSSICATO

Tutti i colori dello smog

A più di 700 chilometri di altitudine, nell'aria rarefatta della nostra atmosfera più esterna, il satellite Terra della NASA osserva costantemente ciò che accade sul pianeta. Lanciato nel 1999 dalla Vandenberg Air Force Base, in California, e pesante quasi cinque tonnellate, ha scattato, negli anni, centinaia di fotografie. Dall'alto, ha ripreso l'occhio del ciclone di decine di uragani, le tempeste di sabbia nel Sahara, le inondazioni del Gange e i camini di fumo che si innalzano dai vulcani in eruzione. Nel 2010, ci ha mostrato la spaventosa macchia nera che si allargava nel golfo del Messico, dalla piattaforma petrolifera Deepwater Horizon della British Petroleum; pochi mesi prima aveva trasmesso l'immagine spettrale di una Gran Bretagna completamente bianca, stretta nella morsa di ghiaccio di un inverno freddissimo.

Il satellite Terra ha cinque occhi, cinque strumenti precisi che forniscono informazioni preziose. Due sono dedicati anche allo studio dell'inquinamento della troposfera, la parte di atmosfera che ospita l'uomo, che si estende dal livello del mare fino a un'altezza di 10-15 chilometri. Non è il solo satellite a farlo; sempre più spesso i progetti che indagano sull'origine e la distribuzione delle sostanze che ammorbano l'aria si basano sui dati provenienti dallo spazio, fondamentali soprattutto nelle numerose zone del mondo che non sono dotate di centraline per il rilevamento a terra. Anche grazie a questi dati, nel 2008, l'Organizzazione Mondiale della

Aria da morire

Sanità (OMS) ha potuto calcolare che ogni anno l'inquinamento provoca nel mondo quasi un milione e 340.000 morti, non molti meno di quelli causati dal virus dell'AIDS. È un numero alto, che preoccupa anche perché, dal 2004, è cresciuto del 16%. Un bilancio così pesante non è però una condanna definitiva. Si stima infatti che oltre un milione di quelle morti potrebbero essere evitate se le linee guida dell'OMS relative alle concentrazioni di polveri sottili (PM_{10} e $PM_{2,5}$) fossero implementate. E la cifra calerebbe ulteriormente se venissero messe in campo misure efficaci per contrastare anche la presenza degli ossidi di azoto, del biossido di zolfo, dell'ozono e delle altre sostanze nocive.

Ma dove è più urgente intervenire? E come farlo? In questo e nei capitoli che seguono, la nostra attenzione sarà rivolta soprattutto a ciò che accade nel mondo occidentale. Non può però passare sotto silenzio il fatto che l'inquinamento è sempre più una piaga che colpisce duramente l'intero pianeta. Anzi, a risentire delle conseguenze peggiori sono oggi le economie emergenti e, in particolare l'Asia. La distribuzione globale delle sostanze inquinanti, così come viene ripresa dai satelliti, è in questo senso significativa. Consideriamo, per esempio, il $PM_{2,5}$, cioè l'insieme delle polveri sottili di diametro inferiore ai 2,5 millesimi di millimetro, la cui presenza è indicativa anche della concentrazione di altre sostanze inquinanti. I dati raccolti dalla NASA dal 2001 al 2006 colorano il planisfero di tinte che vanno dal blu intenso al rosso cupo, passando per l'azzurro, il verde, il giallo e l'arancio: è un codice-colore standard, nel quale al blu corrispondono livelli bassissimi di inquinamento e al rosso scuro concentrazioni molto alte. Per il $PM_{2,5}$, il Canada è quasi completamente blu, così come molta parte dell'Australia e dell'America latina, specie nella parte orientale. Il verde-azzurro di quasi tutti gli Stati Uniti indica che qui, generalmente, le polveri si attestano fra i 10 e i 15 microgrammi al metro cubo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), un valore che si colloca appena sopra il limite di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, raccomandato

Il mondo intossicato

dall'OMS; ma, anche negli USA, le concentrazioni salgono al di sopra dei $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza delle grandi metropoli. In Europa, i livelli medi di inquinamento sembrano ovunque più elevati rispetto a quelli rilevati al di là dell'Oceano, con i picchi maggiori nelle zone urbane. In Africa, infine, la sabbia in sospensione sul deserto del Sahara colora la mappa di rosso aranciato, la stessa tinta che caratterizza la penisola arabica e gran parte dell'Asia.

Ma in tutto il planisfero, alcune regioni densamente popolate spiccano per il colore rosso cupo: nella Cina orientale, l'inquinamento industriale, l'uso di combustibili inquinanti e il traffico delle città fanno salire a $60\text{-}90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentrazione media di polveri nell'aria, con punte di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; l'uso di biomasse per riscaldarsi determina valori simili nella pianura indo-gangeatica dell'India settentrionale, e in alcune parti del continente nero. E fra le regioni più inquinate del pianeta c'è anche la Pianura padana, con medie annuali di $\text{PM}_{2,5}$ comprese fra i $25\text{-}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e punte più elevate nelle città.

Chiusa fra le Alpi a Nord e a Ovest, e gli Appennini a sud, la Pianura padana risente infatti di una situazione meteoclimatica che favorisce il ristagno degli inquinanti. È colpa dell'inversione termica, un fenomeno favorito dall'assenza di vento (la velocità del vento nel bacino del Po è fra le più basse d'Europa) e dal minore irraggiamento solare tipico dei mesi invernali, in virtù del quale gli strati alti dell'atmosfera risultano più caldi di quelli bassi. A qualche centinaio di metri da terra si forma così un vero e proprio coperchio tiepido, che schiaccia al suolo l'aria sottostante, più fredda e inquinata. Quando l'umidità condensa, si genera la nebbia grigia tipica di questa zona, che riduce la visibilità e sporca i parabrezza della stessa polvere nera respirata da chi vive qui. Certo, una riduzione delle emissioni inquinanti permetterebbe di migliorare la qualità dell'aria, ma è difficile ottenere risultati significativi in situazioni che, come questa, sono così profonda-

Aria da morire

mente influenzate da fattori meteoclimatici, quasi impossibili per l'uomo da controllare.

Nel 1978, in un'epoca in cui era la nebbia, più che l'inquinamento, a preoccupare gli abitanti della zona, una soluzione fantasiosa ma non priva di senso fu avanzata da un tranviere milanese, alla trasmissione televisiva *Portobello*. A un Enzo Tortora stupito ed elegante, Pietro Diacono spiegò che bisognava spianare il passo del Turchino, non lontano da Genova, perché in quel modo si sarebbe aperta una finestra sulla pianura, capace di far entrare un po' di aria e spazzare via le nebbie. Il progetto, evidentemente irrealizzabile, fa ancora sorridere; ma l'idea che l'assenza di vento sia fondamentale nel determinare la fragilità della più grande pianura italiana è invece profondamente vera. Più realisticamente, tuttavia, il solo modo per liberarsi dallo smog in una zona in cui il ricambio d'aria è praticamente nullo è ridurre in modo davvero drastico le immissioni inquinanti.

Ulan Bator oggi e Londra nel 1952: due esempi drammatici

Per comprendere meglio la sfortunata condizione della Pianura padana, è utile confrontarla con due situazioni lontane nello spazio e nel tempo, che mostrano le possibili estreme conseguenze della micidiale combinazione fra i livelli elevati di inquinamento e l'inversione termica. L'evento storico è il picco di smog che si determinò a Londra nel dicembre del 1952. La situazione attuale riguarda invece la capitale della Mongolia, Ulan Bator, dove la concentrazione media annuale di PM_{10} è di $279 \mu\text{g}/\text{m}^3$: circa 14 volte quella raccomandata dall'OMS. Nel mondo sta peggio solo la città di Ashvaz, nel sud dell'Iran, che ha una media annuale di PM_{10} pari a $372 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ulan Bator è tuttavia più interessante per noi, perché ha una situazione meteoclimatica simile a quella della Pianura padana, è stata teatro di studi sugli effetti per la

Il mondo intossicato

salute dell'inquinamento e, infine, perché è oggetto di interventi volti a ridurre le emissioni inquinanti.

Dunque partiamo da qui.

Fa un certo effetto pensare che la capitale della nazione nota al mondo per le sue tribù nomadi e per le ampie distese disabitate sia la più inquinata del pianeta. Non si tratta però di un'eccezione: molte città medio grandi dei Paesi in via di sviluppo hanno un'aria irrespirabile, determinata dalla crescita tumultuosa e mal regolamentata avvenuta negli ultimi decenni. Ulan Bator, con circa milione e 200.000 abitanti, è solo la punta estrema di questo fenomeno. A partire dagli anni Novanta, decine di migliaia di ex nomadi hanno abbandonato le steppe in cerca di una vita più prospera, e hanno cominciato a piantare stabilmente le tende ai margini della capitale. I nuovi cittadini hanno tuttavia conservato gran parte delle loro vecchie abitudini e, non collegati a sistemi centralizzati per il riscaldamento, hanno continuato a scaldarsi con stufe alimentate a legna o a carbone. Sono combustibili inquinanti, reperibili a costi abbastanza contenuti, eppure ancora troppo cari per alcuni; tanto che, negli inverni gelidi, con temperature che non di rado toccano i -40 °C, si finisce a bruciare, per scaldarsi, davvero di tutto: dalla spazzatura ai copertoni, fino allo sterco degli animali. Le conseguenze sono disastrose: nel quartiere «delle tende», a nord della città, la concentrazione media annuale di polveri sottili supera abbondantemente i 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. All'inquinamento generato dai sistemi di riscaldamento si somma poi quello del traffico – con veicoli vecchi, alimentati spesso a diesel, che corrono su strade ancora in terra battuta – e quello degli impianti per la produzione di energia elettrica dal carbone. Infine, proprio come accade nella Pianura padana, nei mesi invernali la cappa dell'inversione termica schiaccia gli inquinanti verso il basso, impedendo il ricambio dell'aria. Le conseguenze sulla salute della popolazione sono notevoli. Nel 2011, uno studio condotto in collaborazione fra l'OMS, l'Università della Mongolia

Aria da morire

e la Simon Fraser University di Burnaby (Canada) ha concluso che il 29% degli infarti e il 40% dei tumori polmonari che si verificano fra gli abitanti di Ulan Bator è dovuto all'inquinamento atmosferico. E che, in totale, il 10-13% dei decessi in città sono dovuti alle polveri sottili, al biossido di zolfo e al biossido di azoto. La stima fornita dalla Banca Mondiale è persino peggiore: secondo l'organismo internazionale, il 25% della mortalità della capitale mongola è attribuibile all'inquinamento. Tradotto in vite umane, si tratta di 1600 morti all'anno.

Gli abitanti di Ulan Bator sono le cavie involontarie di un gigantesco esperimento sugli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico. Un esperimento al quale non hanno dato il consenso, non dissimile dai tanti che, nell'era industriale, hanno visto di volta in volta protagonisti minatori esposti a livelli altissimi di radiazioni, lavoratori dell'amianto, popolazioni di intere cittadine. Alcuni di questi episodi saranno trattati nei capitoli seguenti; qui ci soffermiamo invece sul più estremo degli esperimenti non voluti sugli effetti dell'inquinamento atmosferico: quello che, più di mezzo secolo fa, ebbe per protagonisti otto milioni e mezzo di londinesi.

All'inizio di dicembre del 1952, per effetto dell'inversione termica, una nuvola nera di smog si fermò sulla capitale inglese. In un inverno particolarmente rigido, quel picco di inquinamento era il risultato dell'impiego massiccio di sistemi di riscaldamento che usavano un carbone di qualità scadente – perché dopo la guerra quello migliore, con un contenuto basso di zolfo, era venduto all'estero – e della recente decisione di convertire gli storici tram elettrici in veicoli alimentati a diesel.

Il grande smog durò solo pochi giorni, dal 5 al 9 dicembre, e inizialmente non destò troppa preoccupazione fra i londinesi, abituati ai picchi di inquinamento. Inoltre, in una città in cui le malattie polmonari erano frequenti – per via dello smog ma anche della diffusa abitudine al fumo – neppure i medici si resero conto

Il mondo intossicato

che quella volta stava accadendo qualcosa di diverso. Quando l'aria divenne così scura da ridurre la visibilità a pochi metri, le autorità cittadine non si allamarono più di tanto ma si limitarono a prendere precauzioni per garantire l'ordine pubblico ed evitare gli incidenti stradali. A Londra non si vedeva a un palmo dal naso, e il trasporto pubblico in superficie fu sospeso, così come il servizio delle ambulanze, decisione drammatica in un momento in cui di quel servizio c'era un bisogno disperato. Le cronache dell'epoca raccontano di una fuliggine nera che si insinuava fin dentro gli edifici; diversi spettacoli teatrali furono interrotti perché gli spettatori non riuscivano a vedere il palcoscenico; le manifestazioni sportive all'aperto furono annullate. Chi aveva in casa una maschera antigas, magari conservata dagli anni recenti della guerra, iniziò a indossarla per scendere in strada; altri la comprarono, e chi non poteva permettersela tentò di proteggersi con fazzoletti davanti a naso e bocca. Quando l'arrivo di una perturbazione mise finalmente fine all'inversione termica che aleggiava sulla città, e la pioggia lavò l'aria, sulle strade e sui palazzi si depositò uno strato di sudiciume oleoso e nero, dall'odore pungente e irritante per gli occhi e le vie respiratorie. Neppure allora però scattò il panico. La gravità di quanto stava accadendo iniziò a emergere solo nelle settimane seguenti, quando divenne chiaro che nei giorni del grande smog e in quelli immediatamente successivi i decessi e i ricoveri in ospedale erano stati tantissimi; un primo esame dei numeri rivelò che c'erano stati circa 4000 morti in più rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente. Inizialmente il fenomeno fu attribuito all'epidemia di influenza che stava colpendo Londra, ma nei mesi seguenti fu chiaro che la colpa era invece dello smog. La conferma venne dall'analisi dei tessuti prelevati dai cadaveri: i polmoni intasati dalla polvere nera e dai metalli pesanti lasciavano infatti poco spazio ai dubbi sulle cause di quelle morti.

Sebbene la stima di 4000 vittime sia da alcuni ritenuta ancora

Aria da morire

valida, sull'entità delle conseguenze del grande smog di Londra si è continuato a discutere a lungo, e le valutazioni epidemiologiche più recenti hanno disegnato uno scenario molto più cupo. Considerando che la mortalità si mantenne molto elevata almeno fino a febbraio, una ricerca pubblicata nel 2004 sulla rivista «Environmental Health Perspective» ha fermato il conto a 12.000 morti. Per confrontare l'entità del danno, basti sapere che le vittime dei bombardamenti tedeschi su Londra durante la seconda guerra mondiale erano state 30.000.

Il diritto all'aria pulita: una guerra che dura da 2000 anni

L'inquinamento dell'aria è un problema molto più antico di quanto si potrebbe pensare. Già nel 400 a.C., Ippocrate, il padre della medicina moderna, sottolineava quanto fosse importante per la salute dei cittadini fondare i nuovi centri urbani in aree salubri e capaci di garantire una buona qualità dell'aria e dell'acqua. E allo stesso periodo risalgono le prime proteste documentate contro l'inquinamento; a lamentarsi erano i cittadini di Atene, che contava allora circa 200.000 abitanti, infastiditi dai fumi che si innalzavano dalle fonderie, dalle botteghe dei ceramisti e dai camini delle case. Un analogo malcontento è documentato nell'antica Roma a partire dal I secolo d.C., quando Seneca scriveva a un amico che per respirare un po' di aria buona doveva andare in campagna. Iniziatori del diritto moderno, i Romani furono anche i primi a riconoscere che l'aria e l'acqua pulita erano un diritto fondamentale. Lo fece l'imperatore Giustiniano, nel 535, sebbene quel provvedimento non sortì poi effetti reali.

La questione dell'inquinamento dell'aria ha accompagnato la storia dell'uomo attraverso i secoli, ma è diventata centrale nella vita delle città solo dopo la Rivoluzione industriale, quando nei centri che erano divenuti il motore del nuovo sviluppo i livelli

Il mondo intossicato

di smog e di fuliggine raggiunsero livelli insopportabili. Non a caso, il periodo compreso fra il 1780 e il 1950 è stato chiamato l'«età dei fumi», espressione quanto mai adatta, specie se riferita ai Paesi che erano più all'avanguardia in campo industriale: la Gran Bretagna, la Germania e gli Stati Uniti.

In un'epoca in cui nessuna cautela veniva presa per ridurre le emissioni inquinanti degli impianti, le ciminiere disperdevano in cielo moltissime sostanze, alcune delle quali altamente tossiche. Ad ammorbare l'aria erano soprattutto le centrali a carbone, preziosa fonte energetica, usata anche per il riscaldamento domestico al posto della legna: fra Ottocento e Novecento, la produzione mondiale passò da 10 milioni di tonnellate annue a circa 780. Per motivi di costi, ad andare per la maggiore erano le qualità meno pregiate, con un elevato contenuto di zolfo, che liberandosi nell'aria sotto forma di anidride solforosa (SO_2), e qui combinandosi con l'acqua, dava origine a frequenti piogge acide. Studi successivi hanno determinato che il pH di quelle precipitazioni si aggirava attorno a 3,5: un valore più basso di quello che preoccupava l'Italia e l'Europa negli anni Settanta del Novecento. Che un'aria così inquinata fosse tutt'altro che salubre era già allora molto più che un sospetto, sebbene mancassero studi sistematici in grado di quantificare gli effetti. In prima battuta, però, le conseguenze più evidenti dello smog si vedevano sui monumenti e sulla vegetazione. Nel 1854, Charles Dickens parlava di palazzi che sembravano fatti di fuliggine invece che di mattoni, mentre in Germania le piogge acide distruggevano importanti monumenti, fra cui la Cattedrale di Colonia. Qualche decennio più tardi, a lamentarsi dell'inquinamento furono le autorità che gestivano Central Park e i contadini tedeschi della valle della Ruhr, preoccupati perché i loro raccolti venivano distrutti.

La preoccupazione diffusa spinse i cittadini a organizzarsi. La creazione dei primi comitati anti smog della storia porta la data del 1842, quando in due cittadine industriali dell'Inghilterra

Aria da morire

furono fondate la Manchester Association for the Prevention of Smoke e il Committee for the Consumption of Smoke, quest'ultimo a Leeds. Entrambi usarono la strategia di proporre agli industriali soluzioni tecniche, cercando di convincerli che abbattere le emissioni sarebbe convenuto anche a loro. Ma non funzionò, e neppure ebbe seguito la tattica molto diversa adottata dai primi comitati statunitensi, fondata da gruppi di casalinghe stufe di dover pulire la fuliggine che si depositava ovunque. Ben presto comunque, anche negli Usa le donne passarono il testimone della protesta agli uomini, che, a partire dal Novecento, adottarono la politica dei comitati inglesi, con i quali intrecciarono anche proficue relazioni. Tutte le richieste rimasero però inascoltate fino a dopo la seconda guerra mondiale. Nonostante i ripetuti picchi di smog, infatti, l'interesse dei politici era volto a favorire gli industriali, che da parte loro facevano notare come l'adozione di costose misure per abbattere le emissioni avrebbe compromesso l'economia e lo sviluppo della nazione. L'ordinamento giuridico britannico aveva sì riconosciuto alla fine dell'Ottocento che l'aria pulita era un diritto dei cittadini, ma l'implementazione di quel principio non fu attuata. Le cose cambiarono a partire dal 1952, l'anno del picco di inquinamento che fece migliaia di vittime a Londra.

Il grande smog di Londra indusse alcuni rappresentanti del governo a sollecitare l'adozione di leggi specifiche contro l'inquinamento e, in questo senso, l'episodio determinò una presa di coscienza che fu fondamentale per le politiche che sarebbero state intraprese nei decenni successivi, anche in altre parti del mondo. Sotto la pressione della stampa e dell'opinione pubblica, il Parlamento inglese varò nel 1956 il Clean Air Act, che per la prima volta regolamentava le emissioni industriali e domestiche, stabiliva la possibilità di creare zone libere dallo smog nelle città, imponeva l'uso di combustibili meno inquinanti, e avviava programmi volti a ricollocare gli impianti per la produzione energetica.

Il mondo intossicato

tica lontano dai centri abitati. Nello stesso decennio e in quello seguente, anche gli Stati Uniti vararono le prime leggi federali contro l'inquinamento, e il Giappone seguì l'esempio a partire dal 1962. In Germania, dove i cittadini non si erano organizzati in comitati, i provvedimenti anti smog furono invece presi solo a partire dagli anni Settanta. Ma i Paesi che sono rimasti più a lungo drammaticamente indietro nella lotta all'inquinamento sono stati quelli che gravitavano attorno all'ex Unione Sovietica, dove intere città vissero in condizioni non dissimili da quelle della Londra ottocentesca almeno fino agli anni Novanta del Novecento. Ancora nel 1998, ben nove delle 10 città più inquinate del mondo si trovavano in Cina.

L'episodio del 1952 è tuttavia importante anche per un altro motivo: mostrando per la prima volta – e con molta chiarezza – che di smog si può morire, ha infatti contribuito a dare l'avvio agli studi sugli effetti dell'inquinamento per la salute. Gli esperti oggi concordano nel ritenere che fenomeni di tale entità non possano più verificarsi; nondimeno, quando la concentrazione di sostanze inquinanti nell'aria aumenta, si registrano ancora picchi della mortalità e dei ricoveri. E questo non accade solo nelle città più inquinate del pianeta, ma anche a Los Angeles, Londra, Milano. In anni più recenti, gli studi epidemiologici hanno anche dimostrato in modo netto che, accanto agli effetti acuti, lo smog cittadino determina gravi conseguenze sul lungo periodo, favorendo la comparsa di malattie cardiovascolari, respiratorie e di tumori.

Di tutto questo parleremo nel capitolo tre; nelle pagine che seguono sono invece descritti i metodi usati per valutare l'inquinamento e le principali sostanze che le organizzazioni internazionali hanno messo sotto osservazione: le polveri sottili, gli ossidi di azoto, l'ozono, il biossido di zolfo e i metalli pesanti.

2. I KILLER DELL'ARIA

Le sostanze che inquinano l'aria si dividono in due grandi categorie: quelle primarie, emesse direttamente da industrie, automobili, camini o altre sorgenti, e quelle secondarie, che si formano invece a partire dalle primarie, in seguito a reazioni chimiche che avvengono nell'atmosfera. Tipicamente, sono inquinanti primari il monossido di azoto e il biossido di zolfo; è di tipo secondario l'ozono, mentre le polveri sottili hanno una doppia natura: possono cioè essere emesse direttamente dalle sorgenti, oppure generarsi in seguito all'aggregazione di altre molecole. Una seconda grande suddivisione, molto significativa ai fini degli effetti sull'organismo, è quella fra gli inquinanti gassosi e le particelle. Fra queste ultime, solo le più minute riescono a entrare nel sangue. I gas invece possono raggiungere facilmente gli alveoli polmonari se sono poco solubili in acqua (come il biossido di azoto), ma si fermano nello strato mucoso delle prime vie respiratorie quando, al contrario, sono idrosolubili (come, per esempio, il biossido di zolfo).

Le conseguenze per la salute dell'inquinamento dipendono dalle dosi di sostanze nocive a cui si è esposti; per questo motivo, è molto importante conoscere con precisione le loro concentrazioni atmosferiche. Questi dati si ottengono attraverso stazioni di misura, fisse o mobili, la cui presenza sul territorio in Italia è regolata da un decreto legislativo del 2010, che recepisce la Direttiva europea sulla qualità dell'aria del 2008. Accanto alle singole centraline, la rete di monitoraggio comprende

Aria da morire

poi un centro operativo, che garantisce che le misurazioni e le successive elaborazioni siano attendibili e coerenti. La gestione dell'intera rete spetta alle Regioni, che devono assicurare la messa in opera di un numero adeguato di punti di rilevamento, definito per ciascun inquinante in base alla popolazione e alla densità abitativa. Vanno monitorati per legge: il biossido di zolfo (SO_2), gli ossidi di azoto (NO_x), il particolato (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), l'ozono (O_3), il piombo (Pb), il benzene (C_6H_6), il monossido di carbonio (CO), l'arsenico (As), il cadmio (Cd), il nichel (Ni) e il benzo-a-pirene (B(a)P).

Tabella 1: *Valori di riferimento per i principali inquinanti stabiliti dalla normativa europea al 2012, e indicazioni delle «Linee guida» dell'OMS*

Inquinante	Limiti UE	Sforamenti annui consentiti	Linee guida OMS
PM_{10}	Giornaliero 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Annuale: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35	Giornaliero: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Annuale: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{PM}_{2,5}$	Annuale: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (obiettivo per il 2015)		Giornaliero: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Annuale: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto (NO_2)	Orario: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Annuale: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18	Orario: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Annuale: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di zolfo (SO_2)	Orario: 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Giornaliero: 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 3	Giornaliero: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 10 minuti 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono (O_3)	Giornaliero: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media su 8 ore)	25	Giornaliero: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media su 8 ore)

I killer dell'aria

Come si «misura» l'aria malata

Affinché le misure siano rappresentative dell'esposizione della popolazione, le stazioni devono essere posizionate in modo molto accurato, tale da garantire il monitoraggio dell'inquinamento «di fondo», il rilevamento di eventuali picchi nella concentrazione delle sostanze nocive, e l'individuazione delle zone più critiche. La normativa prevede inoltre che siano eseguite misurazioni anche per valutare l'impatto della cattiva qualità dell'aria sull'ambiente, sulle piante e sugli animali.

Ciascuna stazione è coibentata e condizionata, ed è dotata di sistemi che garantiscono la continuità della fornitura elettrica, oltre che di computer che inviano in tempo reale i dati al centro di elaborazione. Una sonda esterna preleva i campioni di aria, che vengono poi suddivisi in frazioni e inviate ciascuna a un singolo analizzatore. La strumentazione permette di misurare di solito più inquinanti, attraverso procedimenti chimici e fisici specifici per ciascuno di essi. Per esempio, gli ossidi di azoto sono valutati attraverso una reazione con l'ozono, mentre le polveri sottili vengono raccolte su filtri speciali, di cui è poi determinato il peso.

Per avere un quadro più completo della situazione, e monitorare un numero maggiore di punti senza spendere troppo, sono poi sempre più numerosi i comuni che affiancano alle centraline classiche il biomonitoraggio, effettuato attraverso licheni. Questi organismi, infatti, sono molto sensibili alla qualità dell'aria e rispondono abbastanza rapidamente alle variazioni dei livelli di inquinanti, con modifiche dei ritmi di crescita, alterazioni del colore o altro. I licheni, inoltre, assorbono e accumulano dall'ambiente diverse sostanze, permettendo quindi di individuare anche contaminanti presenti in piccole quantità, e non rilevati dalle stazioni. Va detto che questi metodi danno indicazioni quantitativamente meno affidabili rispetto agli strumenti delle stazioni. Altre informazioni possono infine essere

Aria da morire

ricavate dai modelli di dispersione, strumenti matematici che permettono di stimare le concentrazioni atmosferiche dei vari inquinanti, tenendo conto delle misurazioni dirette e di parametri quali le caratteristiche orografiche del territorio, le condizioni meteorologiche, il clima e così via.

Tutte queste informazioni permettono di valutare la qualità dell'aria con una risoluzione spaziale capace di distinguere, sulle cartine stradali delle città, quali sono i quartieri e le vie più critiche. Non dicono però nulla sulle sorgenti. Per analizzare questo parametro, fondamentale quando si devono programmare interventi per limitare l'inquinamento, ci si affida dunque agli inventari delle emissioni, che però hanno il grosso limite di escludere dal computo tutti gli inquinanti di tipo secondario. Negli inventari, le sorgenti sono divise grossolanamente in tre categorie: puntuali (perlopiù, impianti industriali o centrali per la produzione di energia), lineari (come strade o linee ferroviarie) e diffuse (distribuite in un territorio, come per esempio le caldaie in un centro abitato). Una seconda ripartizione classifica le fonti in base alla loro tipologia in:

- centrali elettriche pubbliche, produzione di energia (elettrica, cogenerazione e teleriscaldamento) e trasformazione di combustibili;
- impianti di combustione non industriali (commercio, residenziale, agricoltura);
- combustione nell'industria;
- processi produttivi;
- estrazione e distribuzione di combustibili fossili;
- uso di solventi;
- trasporto su strada;
- altre sorgenti mobili e macchinari;
- trattamento e smaltimento rifiuti;
- agricoltura;
- altre sorgenti

I killer dell'aria

Polveri sottili e black carbon: le bestie nere dell'aria

Diversissime per dimensioni, composizione e per il modo in cui si originano, le polveri sottili sono la più eterogenea fra le categorie di inquinati. Dal punto di vista dei loro effetti sulla salute, tuttavia, possono essere raggruppate in modo abbastanza efficace in base alle dimensioni: infatti, via via che il loro diametro diminuisce, aumentano le probabilità che raggiungano le diramazioni più fini dell'apparato respiratorio, gli alveoli e, infine, il sangue. Sebbene alcune sorgenti emettano particelle di grandezza notevole (anche 100 μm , ossia il micrometro, corrispondente a un millesimo di millimetro), i corpuscoli più massicci tendono a ricadere al suolo abbastanza rapidamente e si trovano quindi, sospesi nell'aria, soltanto in prossimità della fonte inquinante. Il PM_{10} , la porzione più leggera, è invece composto da particelle di diametro inferiore ai 10 μm , che possono viaggiare trasportate dalle correnti anche per chilometri e sono capaci di penetrare nel naso e di raggiungere faringe e laringe. Di questo gruppo fanno parte il $\text{PM}_{2,5}$ (con diametro inferiore ai 2,5 μm), che una volta inalato giunge fino alle diramazioni fini dei bronchi, e la frazione ultrafine, fatta di polveri più piccole di 0,1 μm ($\text{PM}_{0,1}$), chiamate anche nanoparticelle, che possono arrivare fino agli alveoli polmonari e penetrare nel sangue. Dal punto di vista strettamente chimico, queste sigle hanno in realtà poco senso, perché le sostanze e gli elementi che compongono le polveri sono molti e diversi. L'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) valuta che in Europa il 20% del PM_{10} e il 30% del $\text{PM}_{2,5}$ siano formati da molecole organiche di vario tipo, che si originano perlopiù da piante e batteri; la frazione che resta è invece un mix di composti inorganici, a base soprattutto di zolfo, azoto, ammoniaca e metalli.

La composizione del particolato varia tuttavia sensibilmente nei diversi contesti e, in uno stesso luogo, cambia anche con le stagioni. A Milano, fra il 2008 e il 2011, il progetto TOSCA, coor-

Aria da morire

dinato dal Centro Polaris (Polveri in ambiente e rischio per la salute) dell'Università Bicocca, ha fotografato questa stagionalità. Finanziato dalla Fondazione Cariplo, lo studio ha trovato che in estate le polveri sono più ricche di pollini e batteri (questo ultimi producono endotossine che determinano la riacutizzazione delle malattie respiratorie di tipo infiammatorio). In inverno invece, il PM₁₀ deriva quasi esclusivamente dal traffico e dai riscaldamenti ed è fortemente arricchito di particelle ultrafini. Risultati per certi versi analoghi sono stati trovati anche da uno studio condotto nella cittadina irlandese di Cork e nelle campagne circostanti: i campioni prelevati in centro contenevano più metalli e, su cellule di tipo polmonare coltivate in laboratorio, determinavano danni di tipo ossidativo; il particolato proveniente dalla campagna scatenava invece perlopiù risposte di tipo infiammatorio.

Recentemente è stata avanzata anche l'ipotesi che la composizione delle polveri sottili sia cambiata nel corso degli anni: gli studi epidemiologici infatti sembrano indicare che il PM₁₀ con cui abbiamo a che fare oggi sia più nocivo di quello di 15-20 anni fa. L'effetto è stato rilevato a Milano, ma anche in altre città italiane, e potrebbe essere legato a una presenza più importante della componente ultrafine. Al momento si tratta di un'ipotesi, che potrebbe però trovare una sua giustificazione nella sempre maggiore diffusione dei veicoli alimentati a diesel. Sono infatti proprio loro i primi responsabili delle emissioni dirette di una varietà di PM_{0,1} salita alla ribalta solo da pochi anni, ma già accusata di causare gran parte degli effetti nocivi attribuiti complessivamente alle polveri: il black carbon. Composto da atomi singoli o da piccole catene di carbonio, il black carbon ha infatti la capacità di attrarre e aggregare una grande varietà di molecole tossiche, e di veicolarle nell'organismo. L'effetto sarebbe così importante che, secondo l'OMS, interventi mirati a ridurre le emissioni di questo inquinante potrebbero limitare sensibilmente l'effetto complessivo delle polveri sottili.

I killer dell'aria

Il trasporto su strada, i sistemi di riscaldamento a gasolio, legna o carbone, e certi processi industriali, legati per esempio alla produzione di energia o al trattamento dei rifiuti, emettono tutti i tipi di particolato. Ma nelle zone abitate a fare la parte del leone è però senza dubbio il traffico, seguito dai riscaldamenti, in proporzioni variabili a seconda dei luoghi. Nel Nord Italia, per esempio, circa il 70% del PM₁₀ totale è legato ai trasporti su strada, ma in alcune aree della Lombardia, il riscaldamento domestico è responsabile del 40% delle polveri primarie, e il 90% di queste emissioni è dovuto a caminetti e stufe che bruciano legna (e che sprigionano anche sostanze cancerogene, come il benzo-a-pirene e altri idrocarburi policiclici aromatici). Per limitare il problema, l'ARPA regionale ha messo a punto una lista di consigli per chi utilizza sistemi di riscaldamento inquinanti, fra cui quello di sostituire le vecchie stufe con modelli più moderni, di far installare e mantenere gli apparecchi da personale specializzato, di preferire il pellet alla legna e, se si usa quest'ultima, di aver cura che sia ben secca e ripulita dalla terra e dal fango.

Altre sorgenti sono invece più specifiche per le diverse categorie di polveri sottili. Nella porzione compresa fra i 2,5 e i 10 µm rientrano per esempio i corpuscoli derivati dalla frantumazione di particelle più grandi, le polveri che si sollevano dalle strade (specie da quelle in terra battuta) o derivate dall'usura di freni, pneumatici e asfalto, e la cenere e il particolato che si sviluppano nel corso degli incendi. Questi eventi, che producono in quantità meno importanti anche polveri dal diametro più fine, possono determinare fenomeni di inquinamento davvero notevoli. Per esempio, nel 1997, la nube nera che si sollevò dalla foresta della Malesia in fiamme coprì la capitale Kuala Lumpur, portando il PM₁₀ a valori superiori ai 900 µg/m³. L'evento fu di tale entità che un incremento delle polveri fu rilevato fino alla costa meridionale della Cina, e a Singapore i ricoveri per asma e malattie respiratorie registrarono un picco. Dieci anni prima,

Aria da morire

qualcosa di simile era accaduto in California. Qui le polveri non avevano superato i $237 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ma ugualmente – secondo i Centers for Disease Control di Atlanta – nei giorni del grande incendio e in quelli immediatamente successivi c’era stato un aumento delle visite ai pronto soccorsi per crisi di asma o per improvvisi peggioramenti di malattie croniche dell’apparato respiratorio; in quell’occasione furono rilevati anche aumenti di bronchiti, sinusiti, e fenomeni di irritazione degli occhi.

Una quota importante del $\text{PM}_{2,5}$ e, nello specifico, quello che ha un diametro inferiore a $1 \mu\text{m}$, è invece di origine secondaria, e si genera dall’aggregazione di molecole più piccole, come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, l’ammoniaca, i composti organici volatili, i metalli pesanti e il black carbon. Il fenomeno è complesso e non dipende soltanto dalla concentrazione atmosferica dei precursori, ma anche dall’eventuale presenza di ozono, dall’umidità e dall’intensità della radiazione solare. Nei centri urbani, il particolato secondario può raggiungere circa la metà di quello totale presente nell’aria.

Le polveri sottili restano uno degli inquinanti più critici nel Vecchio continente. Il rapporto del 2012 dell’Agenzia europea dell’ambiente rileva che, a dispetto dei successi ottenuti su altri fronti, le emissioni primarie di PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ sono diminuite di appena il 14 e il 15% dal 2001 al 2010, e a questa riduzione non ha fatto riscontro una diminuzione importante dei livelli registrati dalle centraline di rilevamento. L’origine della discrepanza fa il calo delle emissioni e la mancata riduzione delle concentrazioni di polveri nell’aria va ricercata nelle complesse dinamiche che portano alla formazione del particolato secondario e, come vedremo, fenomeni analoghi si verificano anche per altri inquinanti. Così, nel 2010, il 21% di coloro che vivevano nelle città europee era esposto a concentrazioni di PM_{10} superiori ai valori limite che l’UE si è data. E se si considerano i livelli più restrittivi raccomandati dall’OMS, la quota sale all’81%. Con un parco

I killer dell'aria

auto vecchio, e un trasporto delle merci ancora in gran parte affidato ai camion, l'Italia non è messa bene: siamo al settimo posto nella classifica dei peggiori, fra i 27 Paesi dell'Unione. Le situazioni più critiche si registrano al Nord, dove, per il PM₁₀, l'83% dei capoluoghi supera i 35 giorni di sforamento della soglia di 50 µg/m³, oltre i quali, in base alla direttiva europea, diventano obbligatorie misure di contenimento, quali i blocchi del traffico. Con l'eccezione di Siracusa, che risente di un sistema di trasporti pubblici obsoleto e della vicinanza con il polo industriale di Augusta-Priolo-Melilli, gli altri capoluoghi nella top ten dei più inquinati d'Italia si trovano tutti nel Settentrione (vedi tabella 2). La Pianura padana, poi, è addirittura l'area più critica dell'intero continente, sebbene valori elevati di particolato si riscontrino anche nel Benelux, in Polonia, nei Balcani e in Turchia. Più in generale, comunque, le polveri sottili ammorbano l'aria di numerose realtà urbane medie e grandi, un po' in tutta l'UE. Unica eccezione, i Paesi nordici: qui, soltanto a Oslo le medie annuali di PM₁₀ superano i 30 µg/m³.

Tabella 2: *I 10 capoluoghi di provincia che hanno fatto registrare il maggior numero di sforamenti della soglia di 50 µg/m³ di PM₁₀ nel 2011*
(Fonte: ISTAT)

Città	Giorni di superamento
Torino	158
Siracusa	139
Milano	132
Verona	132
Alessandria	125
Monza	121
Asti	117
Brescia	113
Vicenza	112
Cremona	109

Aria da morire

Ossidi di azoto e biossido di azoto: la cappa rossa sulle città

Un gruppetto di molecole composte di ossigeno e azoto si mescolano nell'aria e si trasformano l'una nell'altra, formando una delle famiglie di inquinanti più difficili da combattere: quella degli ossidi di azoto (NO_x). La difficoltà sta proprio nella loro natura mutevole, perché limitare – come è stato fatto – le emissioni per una sola di loro sortisce, purtroppo, effetti davvero miseri.

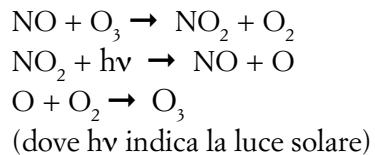
Gli NO_x si formano da processi di combustione alle alte temperature, che avvengono nei motori delle automobili o nelle industrie, e in particolare nelle centrali per la produzione di energia. Le altre sorgenti sono le caldaie, alcune pratiche usate in agricoltura e fonti naturali come i vulcani o i processi metabolici di certi batteri. Queste ultime tuttavia contribuiscono ben poco al mix totale, motivo per cui gli sforzi per limitare i livelli di questi inquinanti nell'aria si sono rivolti al traffico e alla regolamentazione dei fumi industriali. In generale, le sorgenti emettono soprattutto monossido di azoto (NO) e, in misura inferiore, biossido di azoto (NO_2): la proporzione è di nove molecole del primo contro una del secondo, con l'importante eccezione dei motori diesel, per i quali l' NO_2 rappresenta anche il 70% delle emissioni totali di questa famiglia di gas.

Come vedremo, la maggior parte degli effetti sulla salute dipendono da quest'ultimo, anche perché, una volta nell'atmosfera, il monossido si trasforma abbastanza rapidamente in NO_2 , che è un gas irritante e dall'odore pungente. Reagendo con le molecole presenti nell'atmosfera, il biossido di azoto può poi formare un mix piuttosto eterogeneo di inquinanti, di cui fanno parte anche l'acido nitrico (che contribuisce al fenomeno delle piogge acide), le polveri sottili e le numerose sostanze che compongono lo smog fotochimico, la cui formazione è indotta dalla luce ultravioletta proveniente dal sole. Di colore rosso

I killer dell'aria

bruno, lo smog fotochimico forma sulle città più inquinate una cappa caratteristica, ben visibile alla distanza.

La conversione di NO in NO_2 richiede la presenza di ossidanti, molecole cioè che possano fornire l'atomo mancante di ossigeno all'azoto. A svolgere questa funzione è spesso l'ozono (O_3) che, cedendo uno dei suoi tre atomi, torna a essere l'ossigeno biatomico normalmente presente nell'aria (O_2), quello – per intenderci – che respiriamo ed è essenziale alla nostra sopravvivenza. Ma la serie delle reazioni chimiche non si esaurisce così. Infatti, specie nelle giornate particolarmente assolate, l'energia dei raggi ultravioletti rompe uno dei legami dell' NO_2 , che torna così a essere NO. L'atomo di ossigeno che si libera è estremamente reattivo e, a contatto con l' O_2 presente nell'aria, riforma l'ozono. I chimici schematizzano la sequenza di reazioni appena descritta come segue:



In realtà, si tratta di un equilibrio, perché nulla impedisce all'ozono finale di rientrare in circolo e ricominciare dalla prima riga. Ma, al di là del fascino della danza chimica, questa sequenza ha anche un significato molto concreto: dove c'è più traffico (e quindi più emissione di NO_x) c'è molto NO_2 e poco ozono; dove ce n'è meno, invece, gli ossidi di azoto sono a livelli più bassi, ma può salire l'ozono, che non viene più assorbito dall'NO. La conferma di ciò arriva dai dati delle centraline di rilevamento, che per gli ossidi di azoto registrano picchi importanti in prossimità delle strade di grande traffico, specie nelle ore di punta. Diversi studi condotti in Europa hanno accertato che,

Aria da morire

all'interno dei tunnel cittadini e nei periodi di maggior traffico, le concentrazioni di NO₂ possono raggiungere i 600 µg/m³, un valore che supera di molto la soglia di sicurezza raccomandata dalle autorità internazionali anche per le esposizioni di breve durata. In campagna, al contrario, i livelli di questo inquinante possono rientrare persino entro i limiti di legge.

Già, «persino entro i limiti di legge». Non è un'espressione iperbolica, perché davvero, un po' in tutta Europa, i livelli di questa famiglia di inquinanti sono ben oltre le concentrazioni previste dalla direttiva in vigore che, per una volta, coincidono con quelle delle linee guida dell'OMS. Secondo l'Agenzia europea per l'ambiente, nel 2010, 22 dei 27 Paesi UE hanno fatto registrare superamenti dei limiti annuali, con l'Italia quinta nella classifica dei peggiori (non si sono registrati sforamenti soltanto in Estonia, Lituania, Slovenia, Cipro e Malta). E questo, si verifica all'interno di una tendenza orientata troppo debolmente al ribasso: dal 2000 al 2010, la concentrazione media di ossidi di azoto attribuibili al traffico – quelli che fanno la parte del leone – è calata di circa il 20%, in modo estremamente disomogeneo, e restando invariata nelle regioni dell'Europa meridionale. I livelli di NO₂ rilevati dalle stazioni però sono rimasti pressoché costanti e in qualche caso sono persino aumentati. Ancora una volta, le aree più critiche sono i grandi centri urbani, con in testa le città della Pianura padana, ma anche Roma, Napoli, Londra, Parigi, Madrid.

Sul fronte delle emissioni, la miscela di NO_x derivata dai trasporti si è ridotta complessivamente del 26%, ma il biossido di azoto è quasi certamente aumentato, e non di poco. Le informazioni su questo inquinante sono in realtà lacunose perché, in base alla normativa in vigore, gli Stati non sono obbligati a comunicarle. I pochi dati disponibili lo danno tuttavia in rialzo, e a rafforzare questa conclusione ci sono i dati relativi alle vendite di automobili diesel, le principali fonti dirette di questo gas, che hanno superato ormai ampiamente il 50% del mercato. A

I killer dell'aria

peggiorare la situazione c'è poi il fatto che i più moderni filtri anti particolato per i motori diesel – quelli dall'Euro 3 in su – si basano sull'ossidazione: abbattono cioè in modo più efficiente le polveri, ma al tempo stesso producono più NO_2 rispetto a quelli di vecchia generazione.

Di questo passo, gli esperti prevedono che le concentrazioni di biossido di azoto nei grandi centri urbani d'Europa continueranno a salire almeno fino al 2015, quando si stabilizzeranno, per poi calare, a partire dal 2020, per effetto delle riduzioni importanti nelle emissioni degli altri NO_x e di avanzamenti tecnologici che, presumibilmente, renderanno i motori diesel un po' più «green».

Sebbene il biossido di azoto sia uno dei principali inquinanti degli ambienti esterni, questo gas può essere presente in concentrazioni piuttosto alte anche nei luoghi chiusi, quali abitazioni, scuole, uffici o altro. Degli inquinanti indoor parleremo nella seconda parte del libro; qui basti ricordare che fra le quattro mura le principali sorgenti di NO_2 sono il fumo di tabacco, le stufe a cherosene, legna o carbone, i fornelli delle cucine, le candele profumante e i bastoncini di incenso. A queste si aggiunge poi il traffico cittadino, che inquina fin dentro le case, perché le sue emissioni possono penetrare da porte e finestre determinando sensibili peggioramenti della qualità dell'aria indoor. Tipicamente, le concentrazioni di NO_2 nei luoghi chiusi variano fra i 15 e i 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valori maggiori in inverno, ma dipendono moltissimo dalla distanza delle case dalle strade di grande percorrenza e dalle abitudini di chi occupa gli ambienti.

Ozono: il gas dell'afa estiva

Nessuna sorgente inquinante emette direttamente ozono, eppure tutte contribuiscono in modo più o meno marcato a farne au-

Aria da morire

mentare le concentrazioni nell'aria. Questo gas, formato da tre atomi di ossigeno ed estremamente ossidante e nocivo, è infatti il risultato di reazioni ossidative e fotochimiche (attivate cioè dalla luce solare), che si verificano con maggiore intensità nei giorni più caldi dell'anno, e che hanno come materia prima molecole di tipo diverso. Questi «precursori» sono gli ossidi di azoto (in base alla serie di reazioni viste nel paragrafo precedente), i composti organici volatili (COV) e il monossido di carbonio, emessi perlopiù dalle automobili e da processi industriali, e infine il metano (CH_4), che contribuisce però in misura inferiore. Quest'ultimo gas è in realtà a tutti gli effetti un COV, ma viene considerato separatamente perché è meno reattivo degli altri, e perché la gran parte delle emissioni dirette di CH_4 sono riconducibili a sorgenti inquinanti davvero particolari e molto specifiche: le mucche. Il metano è infatti un prodotto dei processi di fermentazione che avvengono nell'apparato digerente dei bovini, e nelle campagne, dove sono più diffusi gli allevamenti, le sue concentrazioni possono raggiungere livelli ragguardevoli. Per questo motivo, pur essendo meno propenso a innescare la serie di reazioni che porta alla formazione di ozono, sta ormai diventando un inquinante da tenere in considerazione sia come precursore dell' O_3 , sia come gas serra, dato che, dopo l'anidride carbonica, è uno dei maggiori responsabili del riscaldamento globale del pianeta.

Pur considerando il contributo dei bovini, comunque, alle nostre latitudini l'ozono si forma perlopiù in città dove è favorito dall'effetto «isola di calore», fenomeno tipicamente estivo in virtù del quale, nei centri urbani, la temperatura può essere superiore anche di 2-3 °C rispetto a quella che si registra nelle zone limitrofe. I principali responsabili di questa differenza sono il cemento e l'asfalto (che nelle ore più calde del giorno possono raggiungere anche i 60-90 °C) e l'assenza di vento, che fa anche ristagnare gli inquinanti precursori del gas.

I killer dell'aria

Una volta che si è formato, una parte dell' O_3 è riassorbita dagli ossidi di azoto presenti in loco; la quota eccedente invece può viaggiare anche a grandi distanze, e questo è il motivo per cui, spesso, i livelli maggiori si registrano ai margini delle città. In qualche caso le differenze sono rilevantissime. Nelle megalopoli dei Paesi emergenti, per esempio, dove il controllo dell'inquinamento cittadino è ancora grandemente inadeguato, la formazione di ozono in estate può essere davvero notevole. A San Paolo del Brasile e a Città del Messico, non è raro che in estate le centraline registrino concentrazioni anche superiori ai $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con i valori peggiori rilevati nelle periferie.

Alcune aree dell'Europa, peraltro, stanno appena un poco meglio. Proprio per le dinamiche con cui si forma, infatti, l'ozono è uno degli inquinanti più difficili da controllare. I rapporti che l'AEA stila regolarmente a partire dal 1997, e che analizzano il periodo estivo, giungono ormai da tempo sempre alla medesima conclusione: le emissioni dei precursori diminuiscono (anche se di poco, come si è visto per gli ossidi di azoto), ma l'ozono resta stabile e in alcuni anni aumenta anzi moltissimo. La serie storica dell'ultimo decennio è significativa: il numero maggiore di sforamenti dei livelli raccomandati dall'UE si è verificato nel 2003 e nel 2006, e il motivo è che in quegli anni le estati sono state caldissime. Nel 2003, in particolare, i valori sono schizzati in alto anche in Paesi che normalmente sono toccati solo marginalmente dal problema, come il Regno Unito e l'Olanda. Quell'estate è ancora ricordata per le ondate di calore: sebbene le stime siano controverse, fra luglio e agosto il caldo fece certamente decine di migliaia di vittime, e una quota non piccola dei decessi è attribuibile all'ozono. Più in generale, e indipendentemente dalle annate peggiori, nel 2004 il programma CAFE (Clean Air For Europe) della Commissione europea stimava che la presenza di questo inquinante causasse ogni anno circa 21.000 decessi prematuri nell'Europa a 25 (ovvero l'UE di

Aria da morire

allora, escluse Bulgaria e Romania, che hanno aderito nel 2007). La cifra era calcolata per concentrazioni di O₃ superiori a 70 µg/m³, un limite più basso di quello delle linee guida dell'OMS, ma già in grado di determinare effetti sulla salute nelle persone più vulnerabili. E poiché, come si è visto, i livelli dell'inquinante non sono cambiati da allora, il valore è purtroppo ancora valido.

Non si pensi, però, che l'ozono rappresenti un problema solo in anni eccezionali come il 2003. Al contrario, il gas è un'emergenza costante, perché gli sforamenti dei livelli suggeriti dalle autorità internazionali sono più la norma che l'eccezione. Se nell'Europa del Nord i livelli sono influenzati da attività economiche poco regolate, come il trasporto aereo e navale internazionale, nelle aree più calde del continente l'O₃ si forma soprattutto per il fenomeno descritto sopra dell'isola di calore. Il rapporto dell'AEA riferito all'estate del 2011 dice che superamenti del valore di 120 µg/m³ si sono registrati in tutti gli Stati UE, esattamente come era avvenuto l'anno prima, e come pure l'anno prima ancora. Nel 2011, poi, 17 dei 27 Paesi dell'Unione hanno oltrepassato quella soglia per più di 25 giorni (erano stati 22 i Paesi a sforare nel 2010, ma il «miglioramento» del 2011 è attribuito a un'estate più fresca). E l'Italia vanta su questo un record: le stazioni di monitoraggio sparse lungo la penisola hanno fatto registrare picchi di ozono oltre i limiti in 182 dei 183 giorni presi in considerazione dall'AEA (quelli che vanno dal 1 aprile al 30 settembre 2011). Appartiene tuttavia alla Bulgaria il primato della centralina che ha registrato il valore maggiore in assoluto: a Dimitrovgrad, nel centro del Paese, il 9 giugno 2011 si è arrivati a 512 µg/m³ (Erba, in Provincia di Como, è comunque terza, con 300 µg/m³ rilevati il 28 giugno).

Più dei singoli numeri, sono però le medie a dare un quadro più completo della situazione. Nel complesso, l'Agenzia Europea per l'Ambiente rileva che le zone più critiche del vecchio continente sono la Pianura padana, le regioni costiere del

I killer dell'aria

Mediterraneo, il Portogallo, la Bulgaria e la Germania centro meridionale. Riguardo all'Italia, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) conferma che le città più inquinate sono quelle del bacino padano. Nel *Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano*, relativo al 2011, le centraline che hanno fatto registrare oltre 60 superamenti della soglia di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si trovavano a: Padova, Bergamo, Parma, Piacenza, Milano, Monza, Bolzano, Brescia, Trento, Verona, Udine, Venezia, Vicenza, Reggio Emilia, Modena, Bologna e Ferrara. Purtroppo, viste le previsioni di estati sempre più torride, questi dati sono destinati ad aggravarsi.

Biossido di zolfo. «Chi inquina paga»: storia di un successo

I successi più significativi della lotta all'inquinamento sono stati ottenuti con il biossido di zolfo. Fino agli anni Settanta-Ottanta, questo gas era infatti onnipresente nelle città europee, e i suoi effetti sulla salute e sull'ambiente erano rilevantissimi. Oggi, invece, le piogge acide sono praticamente scomparse in Occidente, e le concentrazioni di SO_2 si mantengono costantemente al di sotto dei limiti previsti dalla direttiva europea (ma non ancora dei valori raccomandati dall'OMS). Nel vecchio continente, le sole eccezioni a questa tendenza generale si riscontrano in alcune zone di Bulgaria e Turchia, e nel Sud della Polonia. Secondo l'AEA, le emissioni di biossido di zolfo, già abbastanza contenute all'inizio degli anni Duemila, sono ulteriormente diminuite del 54% dal 2001 al 2010 nei Paesi UE: oggi, quelle legate al traffico sono modeste, e sono pure basse quelle derivate dall'uso di combustibili fossili contenenti zolfo, o dai processi industriali. Sebbene le attività legate alla produzione di energia rappresentino ancora una fonte di inquinamento in qualche caso rilevante, le normative più stringenti, unite ai progressi tecnologici e al migliora-

Aria da morire

mento della qualità dei combustibili, hanno fatto sì che in molte regioni le principali sorgenti di SO₂, che è sempre un inquinante primario, siano ormai quelle naturali: l'attività vulcanica, certi processi di fermentazione batterica che si verificano nelle zone paludose o fenomeni di decomposizione. La situazione è diversa nei Paesi emergenti del mondo, dove questo gas dall'odore acre minaccia ancora la salute, determinando incrementi della mortalità e favorendo asma, bronchiti e infezioni delle vie respiratorie. E tuttavia i successi occidentali mostrano con molta chiarezza che azioni mirate possono ottenere effetti importanti anche dove la situazione oggi è ancora compromessa.

I risultati ottenuti con il biossido di zolfo hanno però anche un ulteriore significato, che fa ben sperare per gli altri inquinanti atmosferici. La storia della lotta al SO₂, infatti, dimostra che quando c'è la volontà politica la qualità dell'aria può migliorare in modo significativo. E, soprattutto, che questo può accadere anche se la questione richiede la collaborazione di più Stati, e se le misure necessarie a ridurre l'inquinamento sono costose e incontrano una iniziale ostilità di chi dovrebbe investire per renderle operative.

Il successo, in questo caso, parte da molto lontano. La prima tappa significativa della lotta all'SO₂ ebbe infatti luogo poco più di un secolo fa al di là dell'Oceano Atlantico, ed ebbe per protagonisti gli Stati Uniti e il Canada. Nel 1905, la Consolidated Mining and Smelting Company (Cominco) una grande compagnia canadese attiva nella metallurgia, acquistò un complesso industriale situato nella cittadina mineraria di Trail, nella British Columbia, a pochi chilometri dal confine con lo Stato americano di Washington. Attivo da una decina d'anni, il complesso era in forte espansione ma, assieme a un quantitativo sempre maggiore di metalli produceva in misura crescente anche inquinamento. Gli abitanti di Trail non se ne lamentavano. Al contrario, erano soliti ripetere che «più denso è il fumo che esce dalla

I killer dell'aria

ciminiera, maggiore sarà la nostra prosperità». Gli agricoltori, i proprietari terrieri e i contadini che vivevano dall'altra parte del confine erano però di tutt'altro parere, perché non solo non avevano nessun beneficio economico dall'attività dell'industria siderurgica, ma vedevano i loro raccolti e le foreste distrutti periodicamente dalle piogge acide generate dai suoi fumi. Nel 1925, in seguito alle prime lamentele, i proprietari dell'impianto offrirono degli indennizzi economici, che prevedevano anche l'acquisto dei terreni contaminati. E forse la vicenda si sarebbe chiusa lì, se non fosse intervenuto lo Stato di Washington a fermare la trattativa, in virtù di una legge che impediva ai suoi abitanti di vendere terreni agli stranieri. Delusi e arrabbiati, i cittadini avanzarono allora una petizione chiedendo che la faccenda venisse risolta dalle autorità federali. L'organismo più adatto a decidere sulla materia era la International Joint Commission, creata nel 1909 da Usa e Canada per gestire le relazioni fra i due Stati. Questa stabilì che ai cittadini danneggiati dovesse essere corrisposto un risarcimento, che fu tuttavia rimandato al mittente dai diretti interessati perché chiedevano che, oltre al denaro, fosse loro garantita la messa in opera di misure che risolvessero una volta per tutte il problema. Nel 1935 fu dunque creato un arbitrato internazionale al quale parteciparono la Cominco, i rappresentanti degli agricoltori e quelli dei due governi. Con l'aiuto di tecnici, scienziati ed esperti, nel 1941 fu infine stabilito che, oltre a risarcire coloro che avevano avuto un danno, la Cominco dovesse anche provvedere a eliminare il problema dell'inquinamento.

La disputa dell'acciaieria di Trail fu il primo caso di inquinamento transfrontaliero risolto da un accordo internazionale, e permise anche di stabilire il principio fondamentale, valido ancora oggi, secondo il quale «chi inquina paga». Il caso, inoltre, anticipava i temi che avrebbero dominato il dibattito sul biossido di zolfo negli anni a venire, quando alcune misure volte a

Aria da morire

limitare i danni nei territori vicini alle centrali elettriche a carbone, e ad altri tipi di impianti, ebbero come effetto indesiderato e imprevisto quello di far giungere l'inquinante a centinaia e anche migliaia di chilometri di distanza. Attorno agli anni Sessanta, infatti, molti impianti in Gran Bretagna decisero di alzare le ciminiere, ritenendo che, emesso più in alto, il gas nocivo si sarebbe disperso nell'atmosfera senza creare particolari danni. In effetti, l'inquinamento attorno agli impianti diminuì, ma il biossido di zolfo, trasportato dalle correnti, raggiunse luoghi molto lontani dai siti di emissione, e ricadde infine a terra, mescolato con l'acqua, sotto forma di acido solforico. Le prime vittime di questo fenomeno furono i laghi e le foreste della Scandinavia, che iniziarono a soffrire per le devastanti piogge acide provenienti dai territori inglesi. Inizialmente perplessi sull'origine di quel fenomeno, gli scienziati svedesi e norvegesi presero allora ad analizzare le correnti d'aria e individuarono così nelle ciminiere britanniche la causa dei loro guai.

Ma il grande Nord non era il solo a risentire di situazioni di questo tipo. La Cecoslovacchia e la Polonia soffrivano per l'inquinamento proveniente dalla Germania; sul Giappone si riversavano regolarmente le piogge acide che si originavano in Cina e Corea del Sud, gli Stati Uniti continuavano a ricevere l'inquinamento dall'Ontario, ma ne inviavano a loro volta una certa quota in Canada. Fra le nazioni più colpite, la Svezia (che per il gioco delle correnti era vittima anche dei fumi che si innalzavano dalle fabbriche in alcuni Länder tedeschi) decise infine che il problema andava affrontato a livello internazionale e denunciò pubblicamente la sua situazione nel 1972, quando toccò a Stoccolma ospitare il congresso delle Nazioni Unite su ambiente e diritti umani. Sebbene molti Stati avessero ormai accettato la norma secondo cui «chi inquina paga», il caso dell'inquinamento transfrontaliero era davvero insidioso, perché era impossibile individuare un singolo impianto dal quale provenivano le emis-

I killer dell'aria

sioni che danneggiavano territori posti a così grandi distanze. A Stoccolma, tuttavia, fu stabilito il principio secondo cui ciascuno Stato ha il diritto di sfruttare le risorse di cui dispone, assumendosi tuttavia la responsabilità per eventuali danni che questo sfruttamento può provocare in territori non suoi.

Anche grazie alle pressioni dell'opinione pubblica, la svolta per il biossido di zolfo avvenne comunque nel 1979, quando 34 Stati, compresi tutti quelli della Comunità Europea, gli USA e il Canada, firmarono la Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero, che oggi è stata ratificata da 51 Paesi ed è stata estesa anche a ossidi di azoto, composti organici volatili, metalli pesanti, composti organici persistenti, eutrofizzazione degli ambienti e ozono. Riguardo al biossido di zolfo, la convenzione si poneva obiettivi molto concreti, dichiarando le concentrazioni di SO₂ che gli Stati si impegnavano a raggiungere negli anni successivi, favorendo azioni coordinate e progetti di ricerca, attuando politiche di riduzione delle emissioni basate su misure quali la modernizzazione degli impianti industriali e la sostituzione dei combustibili inquinanti con quelli a più basso contenuto di zolfo. Alla convenzione, negli anni seguenti, si sono poi aggiunti altri programmi nazionali e sovranazionali per il monitoraggio e la mitigazione delle piogge acide. I risultati, in Occidente, sono stati rilevantissimi. Nel 2012, lo studio europeo APHEKOM – di cui parleremo più in dettaglio nel capitolo 4 – ha stimato che il calo delle emissioni di biossido di zolfo registrato dal 1990 al 2004 in 20 città europee ha permesso di prevenire circa 2200 morti premature, e ha fatto risparmiare 192 milioni di euro di costi sanitari.

A partire dagli anni Novanta anche i Paesi dell'Asia hanno iniziato a varare politiche più incisive per ridurre questa forma di inquinamento. Ma qui – si diceva all'inizio – il fenomeno è ancora rilevante.

Aria da morire

Metalli pesanti: chi si ricorda la benzina al piombo?

Cancerogeni, tossici per il sistema nervoso, per i reni e per altri organi, i metalli pesanti – piombo, mercurio, arsenico, cadmio e nichel – sono l'altra categoria di inquinanti per i quali si è riusciti a ridurre molto le emissioni. In passato, infatti, erano prodotti in quantità considerevoli da industrie siderurgiche, centrali energetiche, pratiche di smaltimento dei rifiuti, o erano presenti nei gas di scarico delle automobili. Ma interventi legislativi specifici hanno oggi permesso di limitare il problema, sebbene – come vedremo – in alcune aree permangano contaminazioni importanti.

In Europa, nel periodo fra il 2001 e il 2010, si è ottenuto un calo del 36% nelle emissioni di piombo, del 30% per il mercurio e del 41% per il nichel. Soltanto l'arsenico è diminuito poco; appena il 4%. Ma si tratta di un inquinante la cui concentrazione è comunque ben al di sotto dei livelli di riferimento europei nel 90% dei siti monitorati. Questi risultati sono il frutto di miglioramenti nel trattamento dei fumi industriali e nei processi produttivi, ma anche di azioni che, in qualche caso, hanno influenzato in modo diretto le abitudini degli europei, come la messa al bando della benzina al piombo, sostituita dalla verde a partire dal 2002, e la più recente sostituzione dei termometri al mercurio. Su quest'ultimo metallo, in particolare, gli interventi sono stati diversi e hanno incluso anche il bando alle esportazioni provenienti dall'UE che, prima del marzo 2011 (anno dell'entrata in vigore), era il maggiore esportatore mondiale.

I risultati positivi non hanno tuttavia chiuso la partita con i metalli pesanti. Gli esperti infatti sottolineano che ci sono almeno due ottimi motivi per non abbassare la guardia. Il primo è che, anche una volta cessate le immissioni, questi inquinanti tendono a permanere nell'ambiente per moltissimi anni: i metalli pesanti, infatti, si accumulano nei terreni e nei tessuti biologici, entrano nella catena alimentare e, alla fine, tornano all'uomo nei

I killer dell'aria

cibi di cui si nutre e nell'acqua che beve. Le riduzioni nelle emissioni, insomma, hanno eliminato quasi ovunque l'esposizione diretta, ma esiste ancora la possibilità di entrare in contatto con questi pericolosi inquinanti in altro modo. Il secondo motivo di allarme riguarda invece le zone ancora fortemente contaminate, per la presenza di industrie che molto hanno inquinato in passato e che, in qualche caso, continuano a farlo. In Italia, livelli elevati di metalli pesanti si riscontrano in molti siti di interesse nazionale, quelli cioè inclusi nel programma nazionale delle bonifiche, per i quali interventi di risanamento sono considerati più che mai urgenti. Nel 2011, lo studio epidemiologico *Sentieri*, coordinato dall'Istituto Superiore di Sanità e pubblicato dalla rivista «Epidemiologia&Prevenzione», ne ha analizzati 44 (su 57 totali), rilevando importanti aumenti della mortalità, legati anche alla presenza di metalli pesanti.



INQUINA MENO, FAI LA TUA PARTE

La riduzione dell'inquinamento dell'aria passa dai comportamenti individuali. Ognuno di noi, quindi, può fare qualcosa per inquinare meno, proteggendo così l'ambiente e la salute di tutti.

- Prendiamo l'automobile solo se non ci sono alternative. I mezzi di trasporto pubblici consumano e inquinano molto meno in rapporto al numero di persone che trasportano.
- Pedaliamo e andiamo a piedi, avendo cura di scegliere strade poco trafficate per limitare l'esposizione all'inquinamento. Andare in bicicletta o a piedi è il modo più ecologico di spostarsi e permette anche di fare attività fisica, prevenendo così obesità, malattie cardiovascolari e altri malanni.

Aria da morire

- Se acquistiamo un'automobile nuova prendiamo in considerazione i motori a Gpl o ibridi, che abbattono le emissioni di polveri e altri inquinanti e fanno risparmiare sul carburante.
- Evitiamo di usare l'automobile da soli e diamo passaggi a chi fa la nostra stessa strada. Serve anche a fare amicizia!
- Usiamo solo pile ricaricabili, le meno inquinanti.
- Se la nostra casa lo consente, prendiamo in considerazione l'idea di installare pannelli solari termici per avere l'acqua calda e il riscaldamento di cui abbiamo bisogno.
- In casa, teniamo la temperatura fra i 18 e i 20 °C, valori più alti comportano un inutile spreco di energia.
- Sostituiamo le caldaie a gasolio con quelle che usano combustibili meno inquinanti, come il metano o le biomasse.
- Ricicliamo al meglio i rifiuti, facendo particolare attenzione a pile, medicinali e oggetti elettronici. Questo consente di limitare la dispersione di inquinanti.
- Seguiamo queste regole anche in vacanza, per non inquinare i paradisi che andiamo a visitare. ■

3. LE MALATTIE DELLO SMOG

Nel 2010, presentando una pubblicazione su inquinamento e salute realizzata dalla European Respiratory Society, l'epidemiologo ambientale Bert Brunekreef, dell'Università di Utrecht, esprimeva in modo molto efficace i motivi per i quali la qualità dell'aria dovrebbe rappresentare ancora oggi una priorità nell'agenda della politica, anche in Paesi in cui i miglioramenti sono stati sensibili e importanti, come in molta parte dell'Occidente. Scriveva Brunekreef:

«L'inquinamento dell'aria, che in passato era un problema grave ma circoscritto, tipico delle città altamente industrializzate e densamente popolate, si è trasformato oggi in una minaccia più insidiosa per la salute pubblica di intere nazioni. Gran parte del fumo generato dai caminetti domestici alimentati a carbone, dalle centrali elettriche e dall'industria pesante è scomparso dai nostri cieli. Questo risultato è stato raggiunto grazie all'impiego di combustibili ecologici, alla filtrazione dei gas di scarico, ai passi in avanti compiuti nelle tecnologie di produzione nonché al dislocamento delle industrie più inquinanti in Paesi in cui i salari sono più bassi e vi è un minore controllo dell'inquinamento. Allo stesso tempo, i trasporti su strada sono aumentati enormemente e sono comparse nuove fonti di inquinamento, ad esempio gli allevamenti intensivi (che, come si è visto nel capitolo precedente, producono grandi quantità di metano, N.d.A.). L'inquinamento può essere trasportato per lunghe distanze e le reazioni fotochimiche possono

Aria da morire

generare inquinanti secondari come l'ozono. Pertanto, le distinzioni che si facevano in passato tra città "sporche" e campagne "pulite" sono ora più sfocate: l'esposizione a una qualche forma o livello di inquinamento atmosferico pericoloso interessa oggi una porzione di popolazione molto più grande rispetto a 50 anni fa. Oggi l'inquinamento atmosferico è per certi versi meno visibile e meno irritante nell'immediato rispetto al passato. Per questa ragione è più difficile comprenderne e comunicarne i pericoli per la salute».

L'invito a non abbassare la guardia trova conferma nei risultati di numerosi studi, cui si deve la scoperta che anche concentrazioni relativamente basse di inquinanti sono nocive. E sebbene il rischio per il singolo cittadino sia limitato, l'effetto sulla collettività è importante e determina costi considerevoli. Quantificarli con esattezza non è un'impresa facile, perché l'inquinamento è un fattore di rischio eterogeneo variabile nel tempo, oltre che da un luogo all'altro, e che favorisce inoltre malattie – come quelle respiratorie, cardiovascolari e i tumori – influenzate da moltissimi altri elementi, quali l'età media della popolazione, le sue caratteristiche genetiche e così via.

La conta delle vittime

Per studiare le conseguenze sulla salute della cattiva qualità dell'aria si utilizzano due approcci: quello tossicologico, che analizza l'azione sull'organismo di una sostanza specifica, con esperimenti su cellule, animali o volontari; e quello epidemiologico, che prende invece in esame la popolazione e, con analisi di tipo statistico, calcola quanto l'esposizione agli agenti sospetti influenzi la probabilità di contrarre determinate malattie, o di morirne. Questo secondo tipo di studi è in grado di valutare

Le malattie dello smog

sia gli effetti acuti, che si verificano nell'arco di pochi giorni da quando si registra un picco di inquinamento, sia quelli cronici, che invece si manifestano a distanza di anni, in seguito a esposizioni protratte nel tempo a concentrazioni anche non elevate di inquinanti. Entrambi i metodi hanno però dei limiti; gli studi tossicologici, per esempio, sono condotti perlopiù in laboratorio, un luogo che non riproduce fedelmente quanto avviene in realtà. L'epidemiologia, dal canto suo, analizza il mondo reale, ma permette di fare soltanto associazioni di tipo probabilistico, da cui la relazione causa-effetto può essere dedotta ma non dimostrata. Se affiancati, comunque, i due approcci permettono di avere un'idea piuttosto chiara di ciò che accade. Per questo motivo, i rapporti dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, e delle altre autorità sanitarie che hanno compiti di consulenza nei confronti dei decisori politici, sono spesso volumoni di centinaia di pagine, che prendono in considerazione i risultati provenienti da entrambi i tipi di studi, e tirano le somme. In base a questi dati, nel 2008 l'OMS ha stimato che ogni anno nel mondo l'inquinamento uccide 1,34 milioni di persone.

Per l'Europa, il programma Clean Air For Europe (CAFE) della Commissione ha valutato gli effetti del PM_{2,5} derivato dalle attività umane sull'aspettativa di vita, concludendo che, in media, ogni cittadino UE vive 8,6 mesi in meno a causa delle polveri fini. Il quadro generale, però, è tutt'altro che uniforme: ricalcando le mappe della distribuzione di questo inquinante, si aggira infatti attorno ai tre mesi nei Paesi scandinavi, e raggiunge i valori più elevati nel Benelux con belgi e olandesi che vedono un'aspettativa di vita ridotta di 13 mesi e nella Pianura Padana. Il primato negativo spetta proprio a quest'ultima: qui, in media, le polveri sottili accorciano l'esistenza anche di 2-3 anni. Quanto basta, insomma, per vedere vanificati tutti i benefici che la medicina ha prodotto nell'ultimo decennio, grazie ai progressi importanti nella diagnosi e nella terapia. Per l'ozono il CAFE riscontra una

Aria da morire

disomogeneità simile: dei circa 21.000 decessi attribuibili ogni anno a questo gas (per concentrazioni al di sopra dei $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 4500 si verificano in Italia, Paese che vanta, anche in questo caso, un poco invidiabile primato. Con poco più di 4200 vittime, la Germania è seconda nella classifica dei peggiori.

Questi numeri servono a chiarire la dimensione del problema, ma non rispondono alla domanda che tutti coloro che vivono in una grande città si pongono. Ovvero: che effetto hanno su me e sui miei cari gli allarmi che, specie in inverno, fanno scattare il blocco del traffico? In realtà, non esiste nessun test capace di dare ai singoli risposte così precise, perché le variabili che determinano la suscettibilità individuale (età, abitudini, predisposizione genetica ecc.) sono moltissime, e non sono neppure tutte note. I risultati degli studi epidemiologici sugli effetti acuti dell'inquinamento permettono tuttavia di farsi un'idea. Di solito, queste ricerche valutano l'aumento dei ricoveri per diversi tipi di malattie e quello della mortalità generale. E quest'ultimo dato è senz'altro quello di più immediata comprensione.

La più ampia fra le indagini di questo tipo è il National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study (NMMAPS), condotto fra il 2000 e il 2005 in ben 90 città USA, sotto l'egida dell'Environmental Protection Agency (EPA), l'agenzia americana per la protezione dell'ambiente. Al di qua dell'Oceano, invece, l'UE ha sponsorizzato varie iniziative, fra cui lo studio APHEA, pubblicato nel 2004, che ha riguardato 23 città. In Canada, infine, analisi integrate simili hanno interessato una decina di centri urbani. L'interpretazione di questi grandi studi è però meno agevole di quanto si potrebbe pensare. Infatti, a dispetto della potenza statistica notevole e della correttezza dei metodi, che pure hanno usato approcci statistici diversi, i connotati tipici delle popolazioni di riferimento e la variabilità nel tempo e nello spazio delle caratteristiche dell'inquinamento alla quale abbiamo accennato in precedenza hanno fatto sì che i risultati non siano uniformi.

Le malattie dello smog

Nell'indagine europea e statunitense l'aumento della mortalità generale nelle 24 ore successive al picco di inquinamento è tuttavia concorde, e si aggira attorno allo 0,3% per ogni incremento nell'aria di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} . In Canada però si arriva allo 0,84%.

In base agli studi disponibili, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha definito gli incrementi del rischio di morte e ricovero nei giorni immediatamente successivi ai picchi di inquinamento (tabella 1).

Tabella 1: *Incrementi della mortalità acuta e dei ricoveri per aumenti del PM_{10} di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicati dall'OMS. Gli incrementi del rischio sono direttamente proporzionali a quelli dell'inquinante*

Effetto	Aumento percentuale del rischio
Mortalità generale	0,6
Mortalità per cause cardiovascolari	0,9
Mortalità per cause respiratorie	1,3
Ricoveri per cause cardiovascolari	0,3
Ricoveri per cause respiratorie	0,6

In Italia, lo studio più importante sugli effetti acuti dell'inquinamento è stato promosso dal Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie, organismo del Ministero della Salute, e ha riguardato 10 città (Milano, Mestre-Venezia, Torino, Bologna, Firenze, Pisa, Roma, Taranto, Cagliari e Palermo). Pubblicato nel 2009 dalla rivista «Epidemiologia & Prevenzione», *EpiAir* ha mostrato un innalzamento immediato della mortalità per cause naturali dello 0,69% per ogni aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} , che vuol dire che, laddove ci sarebbero normalmente 1000 decessi, se ne registrano sette in più. Gli stessi incrementi dei livelli di ozono e NO_2 producono il loro effetto massimo dopo cinque giorni, quando la mortalità per cause naturali fa registrare rispettivamente un +2,09% e un +1,54%. Per capire questi dati

Aria da morire

bisogna comunque considerare che nell'aria è presente un mix di sostanze, che interagiscono fra loro e si influenzano a vicenda. Gli effetti dei diversi inquinanti, insomma, non possono essere semplicemente sommati fra loro.

Più di recente, un'indagine sul PM₁₀ condotta in Lombardia ha stimato che qui gli sforamenti della soglia di 20 µg/m³ raccomandata dall'OMS provocano ogni anno 302 decessi, 231 dei quali si verificano a Milano. La cifra equivale all'1,4% di tutte le morti per cause naturali che si registrano nella regione.

Pur nella disomogeneità dei risultati non altissima, in realtà gli studi epidemiologici concordano pienamente su tre punti importanti. Primo: il rischio per i singoli è piccolo, ma poiché all'inquinamento siamo tutti esposti l'effetto sulla collettività diventa rilevante. Secondo: polveri, ozono e biossido di azoto incidono maggiormente sui decessi per malattie respiratorie e cardiovascolari. Terzo: gli anziani e le persone debilitate da malattie preesistenti sono più vulnerabili (i bambini sono un'altra categoria a rischio quando si considerano effetti generali sulla salute, ma fortunatamente non per la mortalità). Quest'ultimo aspetto merita una riflessione. Infatti, in passato si era pensato che l'incremento della mortalità nei giorni successivi a un picco di inquinamento, colpendo persone già in cattiva salute, fosse soltanto un'anticipazione di eventi che si sarebbero comunque verificati di lì a poco. Non è così. Lo spiega con parole molto chiare un articolo di Paolo Crosignani, epidemiologo dell'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano, pubblicato nel 2010 sulla rivista «Epidemiologia & Prevenzione»:

«Si potrebbe pensare che gli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico siano costituiti esclusivamente dall'anticipo di pochi giorni di decessi a carico di un gruppo di soggetti in condizioni di salute già compromesse, e che queste morti non sarebbero state a ogni modo evitabili. Se così fosse, l'aumento di mortalità

Le malattie dello smog

osservato in seguito a un aumento dell'inquinamento dovrebbe esaurirsi in pochi giorni e la mortalità dovrebbe ritornare ai valori medi anche se i livelli degli inquinanti rimangono elevati. [Tuttavia] questo deficit di mortalità atteso nei giorni successivi al picco di morti, [...] non si verifica. Questo fenomeno è spiegabile solo se [...] si suppone che l'inquinamento atmosferico, oltre a portare a morte i suscettibili (cioè che viene osservato come effetto a breve termine), nel contempo peggiori le condizioni di salute di altre persone in condizioni di salute meno compromesse, portandole nel pool di suscettibili che morirà nei giorni successivi. [...] Quindi, l'inquinamento atmosferico non solo porta a morte persone appartenenti a un gruppo ad alto rischio, ma fa pure affluire nuovi individui in questa categoria».

L'inquinamento, insomma, prima fa ammalare e poi uccide. Gli effetti acuti diversi dalla morte sono trattati nelle pagine che seguono; e quelli cronici sono oggetto invece dell'ultima parte di questo capitolo.

Effetti acuti: cardiopatici e bambini, i più vulnerabili

Nell'inverno 2006-2007, un gruppo di medici londinesi ha condotto un esperimento davvero originale per verificare l'impatto immediato degli scarichi dei diesel sulla salute degli asmatici. Alcuni volontari, con forme di asma lievi o più serie, sono stati invitati a passeggiare per le vie di Londra, dotati di un dosimetro personale per misurare la concentrazione di PM_{2,5} e di black carbon. Più precisamente, i 60 partecipanti hanno camminato dalle 10:30 alle 12:30 del mattino nella centralissima Oxford street, e, a distanza di qualche tempo, hanno fatto lo stesso a Hyde Park. La scelta dei luoghi non è casuale: infatti, Oxford street è percorribile soltanto da mezzi pubblici e taxi alimentati a diesel,

Aria da morire

mentre Hyde Park è uno dei polmoni verdi più grandi della capitale inglese. Prima, durante e dopo la passeggiata, i volontari hanno eseguito dei test per valutare la funzionalità polmonare e l'eventuale peggioramento dello stato infiammatorio delle loro vie respiratorie, una condizione tipica dell'asma. I risultati, pubblicati sulla rivista «*New England Journal of Medicine*», mostrano un effetto istantaneo e diretto dei fumi dei diesel di Oxford street sulla capacità polmonare e sugli indici infiammatori dei volontari. Inoltre, i valori peggiori si riscontravano in chi soffriva di forme di asma più serie, a conferma di quanto emerso dagli studi epidemiologici che rilevano una vulnerabilità all'inquinamento più marcata nelle persone già debilitate.

La relazione fra la cattiva qualità dell'aria e l'asma è fra quelle per cui le prove degli studi tossicologici ed epidemiologici sono più schiaccianti. Ed è ormai altrettanto chiaro che fra le persone più suscettibili ci sono anche i bambini, perché hanno polmoni non ancora completamente sviluppati e perché respirando a una frequenza maggiore introducono nell'organismo anche una quantità più elevata di polveri e veleni. Non a caso, è proprio per questi ultimi che il progetto *EpiAir* registra l'incremento maggiore di ricoveri per asma, nei giorni che seguono un picco di inquinamento. Nella ricerca italiana, la sostanza che più delle altre concorre a determinare l'effetto è il biossido di azoto, che gli studi tossicologici indicano come fortemente irritante: due-cinque giorni dopo che le centraline registrano un balzo nei valori di questo gas, i bambini ricoverati negli ospedali per crisi gravi salgono del 9,1% (per gli adulti si registra invece un aumento del 7,6%). Altre ricerche hanno indicato che anche il PM_{2,5} ha un ruolo centrale, e che, più in generale, i picchi di inquinamento determinano un peggioramento complessivo dei sintomi dell'asma e fanno aumentare anche il ricorso ai farmaci. Studi di lungo periodo hanno poi trovato che questa patologia è più comune fra i bambini esposti per diversi anni all'azione delle

Le malattie dello smog

sostanze inquinanti. Per esempio, nel 2007 una ricerca francese, pubblicata su «Respiratory medicine», ha rilevato che quando le concentrazioni di PM_{2,5} superano costantemente il valore di 10 µg/m³ raccomandato dall'OMS, il numero di casi di asma fra i bambini inizia a salire. Lo studio, che ha coinvolto oltre 5300 bambini, è stato condotto in sei città: Reims, Créteil, Strasburgo, Bordeaux, Clermont-Ferrand e Marsiglia.

Proprio perché il naso, la trachea, i bronchi e i polmoni sono i primi organi con cui le sostanze inquinanti entrano in contatto, le malattie respiratorie che risentono della loro azione sono numerose. Oltre all'asma, gli studi epidemiologici rilevano una maggiore incidenza di tosse, raffreddore e mal di gola, aumenti del numero di bronchiti e polmoniti, peggioramenti importanti delle broncopneumopatie croniche ostruttive (espressione che indica una serie di malattie croniche, fra cui l'enfisema). I meccanismi biologici che sono all'origine di manifestazioni così diverse sono sostanzialmente due: il primo passa dall'inibizione dell'attività di un tipo di cellule, chiamate «ciliate», che si trovano sulle pareti della trachea e dei bronchi e che, in condizioni ottimali, veicolano verso l'esterno le particelle estranee (fra cui, per esempio, i virus e i batteri). Il secondo comporta invece l'innesto, o il peggioramento, di infiammazioni, che favoriscono l'attacco degli agenti patogeni e aggravano le eventuali malattie già in corso. In più, l'ozono ha una forte azione ossidante, che determina un deterioramento generale dei tessuti, e altre molecole del mix tossico presente nell'aria hanno questo effetto. Il cammino degli inquinanti non si ferma però ai polmoni: le polveri più fini e alcuni gas, infatti, attraversano le membrane delle cellule che rivestono gli alveoli, penetrano nel sangue, e si diffondono così a diversi organi. Le prime conseguenze, allora, sono a carico del cuore e dei vasi.

Il legame fra la cattiva qualità dell'aria e malattie cardiovascolari è emerso con chiarezza solo a partire dagli anni Novanta,

Aria da morire

quando gli epidemiologi hanno iniziato a notare che, accanto ad aumenti della mortalità per cause respiratorie, i picchi di inquinamento facevano anche salire gli infarti e i ricoveri per scompenso cardiaco, angina o altro. Il fatto che gli inquinanti potessero raggiungere il circolo sanguigno, infatti, era tutt'altro che scontato, e ancora oggi i meccanismi che stanno alla base degli effetti osservati non sono del tutto chiari. Gli studi di tossicologia, condotti su animali e su volontari, accusano soprattutto le polveri sottili, responsabili della produzione di sostanze che favoriscono l'infiammazione delle pareti dei vasi e la coagulazione del sangue. Questo genererebbe dei trombi (o coaguli) che potrebbero a loro volta determinare infarti, ictus e trombosi. Altre ricerche hanno osservato alterazioni del ritmo cardiaco in relazione all'esposizione al particolato, sebbene il meccanismo che origina il fenomeno rimanga ignoto. Le polveri, infine, sono state legate a un peggioramento dell'aterosclerosi, condizione che sta alla base di numerose malattie cardiovascolari. Qualsiasi sia il meccanismo, però, i dati che emergono dagli studi di epidemiologia sono concordi: l'inquinamento incide sulla mortalità per infarti, scompenso cardiaco e altre malattie cardiovascolari molto di più di quanto faccia per i decessi dovuti ad altre cause, incluse quelle respiratorie. In valori assoluti, la differenza è in realtà di appena qualche decimale, che significa però moltissimo se tradotto in termini di impatto sulla salute pubblica. Preoccupano, per esempio, i dati sullo scompenso cardiaco, condizione che si verifica quando il cuore non riesce a pompare tutto il sangue di cui l'organismo avrebbe bisogno, e di cui soffre il 3-10% degli anziani. Nel 2008, uno studio condotto negli USA da Arden C. Pope, notissimo esperto di inquinamento ambientale della Brigham Young University di Provo (Utah), ha rilevato un aumento del 13,1% dei ricoveri per questa malattia in seguito a incrementi di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$ nell'aria. Per lo stesso inquinante e per le medesime concentrazioni, il gruppo di Pope ha anche

Le malattie dello smog

osservato un rialzo del 4,5% degli eventi coronarici acuti (infarti e angine). In entrambi i casi, altre analisi, che hanno considerato tutto il PM₁₀, danno aumenti del rischio più contenuti, il ché confermerebbe che la frazione di particolato più pericolosa è proprio quella di dimensioni più ridotte.

L'età, le condizioni di salute e la predisposizione genetica possono renderci più o meno vulnerabili agli inquinanti. Ma l'influenza delle abitudini individuali emerge bene da uno studio tedesco pubblicato nel 2004 su «New England Journal of Medicine», che ha voluto capire se alcune attività aumentino la suscettibilità ai gas di scarico delle automobili. I ricercatori hanno preso in esame quasi 700 persone che avevano avuto un infarto, chiedendo loro di descrivere che cosa avevano fatto nei quattro giorni precedenti, e che modalità avevano usato per spostarsi in città. I risultati mostrano che coloro che erano stati in mezzo al traffico avevano in effetti subito un aumento del rischio infarto nelle ore successive, e che, fra tutte le modalità usate per spostarsi, la bicicletta era la più pericolosa. Diversi studi in passato hanno accertato che la concentrazione di polveri sottili negli abitacoli delle automobili è solitamente superiore a quella che si respira fuori; tuttavia osservano gli autori dello studio i ciclisti sono più a rischio degli automobilisti perché l'attività fisica fa aumentare il ritmo respiratorio, e determina così un maggiore ingresso di aria (e quindi di inquinanti) nell'organismo.

Effetti cronici: l'insidia più subdola, dal cuore ai tumori

Le alterazioni che le sostanze inquinanti determinano su polmoni, cuore e vasi, non hanno conseguenze soltanto nel breve periodo. Infatti, anche in una persona sana, la capacità che l'organismo ha di riparare i danni subiti ha un limite, specie se l'esposizione al fattore nocivo si protrae nel tempo. Per varcare quella soglia, che

Aria da morire

determina il confine invisibile fra salute e malattia, non bisogna necessariamente vivere in realtà particolarmente insalubri: al contrario, gli studi che hanno valutato gli effetti cronici dell'inquinamento atmosferico indicano che anche concentrazioni inferiori ai limiti attualmente in vigore in Europa possono avere conseguenze a distanza di molti anni. Per il PM_{2,5}, poi, non è stata neppure individuata una soglia minima di sicurezza, al di sotto della quale l'esposizione prolungata può essere ritenuta sicura, mentre l'ozono è già certamente dannoso alla concentrazione di 100 µg/m³ indicata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Per questi motivi, il rischio inquinamento non potrà mai essere azzerato. È però altrettanto vero che l'attuale qualità dell'aria è inaccettabile, e che molte morti potrebbero essere evitate migliorandola anche di poco.

Così come per gli effetti acuti, anche per quelli cronici l'aumento della mortalità è il dato che più di ogni altro chiarisce l'entità del fenomeno. A partire dalla metà degli anni Novanta il gruppo di Arden C. Pope ha condotto una serie di analisi utilizzando i registri sulle cause di morte redatti dall'American Cancer Society. Nel 2002, basandosi sui dati relativi a circa mezzo milione di persone, seguite per 16 anni, ha concluso che per ogni incremento di 10 µg/m³ di PM_{2,5} la mortalità generale aumenta del 6%. Questo valore è stato preso come riferimento dall'OMS per valutare gli effetti di lungo periodo del particolato fine (vedi tabella 2); altri studi hanno tuttavia dato numeri decisamente più elevati. Per esempio, nel 2006, il Dipartimento di epidemiologia ambientale dell'Università di Harvard (Stati Uniti) ha pubblicato i risultati di un'osservazione durata una ventina di anni, che ha riguardato oltre 8000 persone residenti in sei cittadine (Portage, Topeka, Watertown, Harriman, Saint Louis, e Steubenville). Tenendo conto dell'andamento del PM_{2,5}, il *Six Cities Study* ha concluso che, per ogni incremento di 10 µg/m³ dell'inquinante, la mortalità generale sale del 16%. In Italia, OMS e APAT (oggi

Le malattie dello smog

ISPRa-Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) hanno invece considerato gli effetti del PM₁₀ e dell'ozono sulla mortalità di lungo periodo in 13 città – Torino, Genova, Milano, Trieste, Padova, Venezia-Mestre, Verona, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Catania e Palermo – con una popolazione totale di circa 9 milioni di persone, ovvero il 13 % di quella nazionale. Fra il 2002 e il 2004 questi due inquinanti hanno causato oltre 8000 decessi, equivalenti a circa il 9% delle morti registrate per tutte le cause. Pur nella difformità delle stime, tutte le analisi concordano su un dato: proprio come era accaduto per gli effetti acuti, anche quelli cronici si fanno sentire molto di più su cuore e vasi. Nello studio di Pope, per esempio, la mortalità per infarto aumentava del 18%, e nel *Six Cities Study* si impennava addirittura al 28%. Infine, dei circa 8000 decessi registrati dallo studio OMS-APAT, ben 2562 erano infarti.

Tabella 2: *Incrementi della mortalità cronica per aumenti del PM_{2,5} di 10 µg/m³, indicati dall'OMS. Gli incrementi del rischio sono direttamente proporzionali a quelli dell'inquinante*

Effetto	Aumento percentuale del rischio
Mortalità generale	6
Tumori del polmone	8
Mortalità per infarto	18

L'analisi italiana ha legato all'inquinamento anche 329 morti per ictus, e altri studi, in anni recenti, hanno suggerito un possibile legame fra un'esposizione di anni agli agenti inquinanti e l'aumento del rischio di incorrere in eventi di questo tipo. Eppure, sebbene l'effetto sia del tutto plausibile, gli esperti ritengono necessarie altre conferme prima di poter dire la parola definitiva (l'incremento della mortalità per ictus nei giorni che seguono un picco di inquinamento è invece molto controverso). Da chiarire

Aria da morire

meglio è infine anche il legame fra inquinamento e trombosi venosa profonda, una condizione che si verifica quando un coagulo (trombo) blocca una vena, e che può portare a invalidità e, in qualche caso, anche alla morte. Una ricerca dell'Università di Milano, in collaborazione con altri centri internazionali, ha trovato che vivere in prossimità di una strada di grande traffico fa aumentare anche del 50% il rischio.

L'associazione fra la cattiva qualità dell'aria e lo sviluppo di malattie respiratorie è invece più netta. Per esempio, si è visto che, nella fascia di età compresa fra i 10 e i 18 anni, $PM_{2,5}$ e black carbon compromettono lo sviluppo dell'apparato respiratorio e determinano una funzionalità polmonare ridotta. C'è il sospetto che anche l'ozono possa avere simili conseguenze, soprattutto in presenza di infiammazioni croniche, come quelle determinate dall'asma. Per gli adulti, diverse ricerche hanno poi associato l'esposizione ai fumi del traffico ad aumenti del rischio di ammalarsi di enfisema e altre broncopneumopatie croniche ostruttive.

Ma fra gli effetti di lungo periodo, quello che preoccupa di più è senza dubbio il cancro. Alcuni studi – fra cui un'indagine epidemiologica dell'Istituto Nazionale dei tumori di Milano – hanno associato il fatto di abitare vicino a una strada di grande traffico alla leucemia infantile, indicando come possibile responsabile il benzene. Questa molecola, presente nei gas di scarico, è stata in effetti classificata come un cancerogeno certo dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) di Lione, l'organismo OMS che cataloga le sostanze in base alla loro capacità di determinare tumori. Altre ricerche si sono invece concentrate sul tumore del polmone. Non va dimenticato che il fattore di rischio di gran lunga più importante per questa malattia è il fumo di tabacco; tuttavia, specie fra coloro che non hanno mai acceso una sigaretta, una quota importante dei casi potrebbe essere dovuta proprio all'inquinamento. Un incremento della

Le malattie dello smog

mortalità del 27% per questa malattia era stato notato già nel *Six Cities Study*; altre indagini danno tuttavia stime più contenute, comprese fra l'8 e il 14%. Ed è probabile che a far aumentare le probabilità di ammalarsi sia più di una molecola, dato che diverse sostanze presenti nel mix di inquinanti che respiriamo sono cancerogene, o fortemente sospettate di determinare tumori (oltre al benzene, gli altri composti organici volatili e gli idrocarburi policiclici aromatici).

Nel 2006, lo studio europeo EPIC (European Prospective Investigation on Cancer and Nutrition) ha trovato anche un'associazione con il biossido di azoto, in virtù della quale il rischio di contrarre il tumore del polmone aumenta del 14% per ciascun incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di questo inquinante nell'aria. Il dato merita però una riflessione. Infatti, l' NO_2 è emesso in quantità rilevante dai diesel (vedi capitolo precedente). È quindi possibile che l'effetto osservato significhi in realtà che esiste un'associazione fra i fumi prodotti da questo tipo di motori e la malattia. E il sospetto cade sul black carbon, in virtù della sua capacità di legare molecole di varia natura e portarle nelle diramazioni più fini dell'albero respiratorio.

In effetti, nel giugno del 2012, la IARC, ha inserito i gas di scarico dei motori diesel fra i cancerogeni del Gruppo 1, che include gli agenti per i quali le prove di una relazione causa-effetto fra esposizione e sviluppo del tumore sono ritenute sufficienti. La decisione si basa su numerosi studi epidemiologici e tossicologici, ma come ha precisato la stessa Agenzia, uno di questi, condotto negli Stati Uniti dal National Cancer Institute e dal National Institute for Occupational Safety and Health, ha pesato più degli altri. Pubblicato online nel marzo del 2012, il *Diesel Exhaust in Miners Study* ha valutato la relazione fra l'esposizione ai fumi dei motori diesel e il tumore al polmone in 12.315 lavoratori, impiegati in miniere che estraggono materiali diversi dai metalli (calcare, potassio, sale e altro), in Ohio, Missouri, New Mexico e

Aria da morire

Wyoming. La scelta delle miniere è dovuta al fatto che in questi contesti si fa un uso massiccio di macchinari alimentati a diesel e, per via della ridotta ventilazione, i gas di scarico si accumulano nei tunnel raggiungendo concentrazioni molto elevate. I minatori sono quindi una categoria particolarmente esposta al fattore di rischio sotto esame, e su di loro l'eventuale effetto cancerogeno dovrebbe quindi emergere con più chiarezza. È stato proprio così: i risultati dello studio americano, costato 11,5 milioni di dollari, mostrano che fra i lavoratori più esposti agli scarichi dei diesel il rischio di tumore al polmone aumenta di due-tre volte rispetto ai meno esposti.

La relazione è netta, ma l'estrapolazione delle conclusioni alla popolazione generale è parecchio ardita, perché i livelli di inquinamento ai quali sono esposti i minatori non sono neppure lontanamente paragonabili a quelli che sperimenta chi vive in città. Un invito alla cautela arriva dallo stesso National Cancer Institute: «Sulla base di questo studio, i ricercatori non possono stimare con certezza i rischi derivanti dall'esposizione ai diesel, ai livelli bassi presenti normalmente nell'ambiente». Lo studio, insomma, è importante perché fornisce una prova in più della cancerogenicità dei diesel, ma dice ben poco sul rischio che potrebbe correre chi vive in città inquinate.

Ma del *Diesel Exhaust in Miners Study* colpisce soprattutto la storia ventennale e tormentata, che segnala chiaramente quanto ancora oggi pochi gruppi di potere possano ostacolare ricerche e provvedimenti volti a tutelare la salute pubblica. Avviato negli anni Novanta, lo studio è stato subito oggetto di attenzione da parte delle industrie minerarie, che hanno cercato immediatamente di fermarlo, temendo che i risultati potessero obbligarle a mettere in campo costose misure a tutela della salute dei lavoratori. Organizzate in un'associazione chiamata Mining Awareness Resource Group (MARG), le aziende in questione riuscirono a ottenere da un giudice il diritto a rivedere lo studio prima della

Le malattie dello smog

pubblicazione, avendo a disposizione 90 giorni per fare le loro osservazioni. Negli anni seguenti, i ricercatori sono stati citati in giudizio in varie occasioni, sempre con l'obiettivo di ritardare l'avanzamento dell'indagine. L'ultima volta è accaduto nel 2011, quando è stato loro contestato di non essere collaborativi nel rispettare la sentenza del giudice. Con i risultati già pronti, i ricercatori hanno quindi dovuto fornire ulteriori chiarimenti al MARG. Ma all'inizio di marzo 2012 anche l'ultimo termine concesso alle aziende è scaduto. In un tentativo estremo, un avvocato del MARG ha contattato le riviste che avrebbero potuto pubblicare i resoconti finali, minacciando azioni legali nei loro confronti. Non è servito. Di lì a poco, i risultati, suddivisi in tre parti, sono stati resi noti dal «Journal of the National Cancer Institute» e dal «Journal of Occupational Medicine and Toxicology».

I DANNI ALL'AMBIENTE E AL PATRIMONIO ARTISTICO

L'inquinamento non fa male solo alla salute. Uccide anche piante e animali, compromette l'equilibrio degli ecosistemi, contribuisce al riscaldamento globale, nuoce all'agricoltura. E se in passato la sostanza che più danneggiava l'ambiente era l'acido solforico che, derivato dal biossido di zolfo, era responsabile delle piogge acide, ora che le immissioni di SO₂ nell'atmosfera sono molto diminuite – almeno in Occidente – a preoccupare di più sono l'ozono e i composti azotati. Il primo interferisce con la fotosintesi, rendendola meno efficiente, e compromettendo quindi la crescita e la riproduzione delle piante. Per l'agricoltura, questo significa una resa minore dei



Aria da morire

raccolti; per gli ecosistemi equivale invece a un danno alla biodiversità vegetale. In Europa, i livelli di riferimento fissati al fine di proteggere la vegetazione, non vincolanti legalmente, vengono ampiamente superati in tutti i Paesi che si affacciano sul Mar Mediterraneo. Il danno alla copertura verde si traduce poi anche in una minore capacità delle piante di assimilare dell'atmosfera l'anidride carbonica (CO_2), il principale gas a effetto serra. L'entità del contributo che il meccanismo appena descritto può dare al riscaldamento globale è probabilmente ridotta. L'ozono, però, è anche di per sé un gas serra, più potente dell'anidride carbonica. Ha un ruolo secondario nel determinare i mutamenti climatici soltanto perché permane nell'atmosfera per tempi molto più brevi rispetto all'anidride carbonica, e perché è comunque presente in concentrazioni parecchio più basse e in modo disomogeneo.

I composti azotati sono solo un po' meno nocivi per l'ambiente rispetto all'ozono. Gli ossidi di azoto contribuiscono al fenomeno delle piogge acide (anche se in modo molto meno importante di quanto facesse l' SO_2); l'ammoniaca (NH_3), emessa perlopiù dai fertilizzanti usati in agricoltura, determina invece il fenomeno dell'eutrofizzazione, un arricchimento eccessivo di nutrienti negli ambienti acquatici che porta alla fioritura massiccia di alghe, con il conseguente consumo dell'ossigeno presente, che a sua volta produce importanti morìe di pesci e di altre forme di vita. I composti azotati, infine, contribuiscono alla formazione di ozono e particolato fine, e quindi incrementano i danni agli ecosistemi determinati da questi due inquinanti. Del primo si è già detto. Le polveri, dal canto loro, nuocciono agli animali allo stesso modo che all'uomo e possono danneggiare il metabolismo delle piante. Il loro effetto sul riscaldamento globale è invece misto: immissioni massicce di polveri nell'atmosfera (in seguito, per



Le malattie dello smog

esempio, a eruzioni vulcaniche) sono state associate con un raffreddamento della temperatura media, legato al potere schermante delle particelle nei confronti della luce solare. Esistono tuttavia anche polveri che determinano l'effetto opposto, perché intercettano le radiazioni provenienti dalla terra e le riflettono verso il basso, proprio come fanno gli altri gas serra. L'effetto finale, variabile da zona a zona, dipende dalla composizione e dalle dimensioni dei corpuscoli.

Tutti gli inquinanti, in modo più o meno marcato, mettono anche a rischio il patrimonio artistico e culturale. In particolare, i monumenti calcarei (il cui principale componente è il carbonato di calcio) sono erosi da inquinanti che hanno un pH acido (acidi nitrico e solforico, alcuni tipi di particolato e CO₂), e possono annerirsi in seguito alla deposizione di microparticelle contenenti carbonio; le statue in bronzo, invece, sono più soggette alla corrosione, che ne modifica l'aspetto. Nel 2011, uno studio dell'ISPRA e dell'Istituto superiore per la conservazione e il restauro ha valutato che i monumenti di Roma perdono ogni anno da 5,7 a 6,3 millesimi di millimetro (µm) di spessore (ovvero, occorrono 1000 anni per perdere circa sei millimetri). Il valore è inferiore a quelli che si riscontravano in passato, ed è più basso rispetto alla soglia di otto µm ritenuta accettabile dall'Unione europea. Il tasso di erosione tuttavia varia a seconda delle zone considerate e aumenta se il bene non è in un buono stato di conservazione. Fra i monumenti presi in esame, quelli che più subiscono gli effetti dell'inquinamento sono: le chiese di San Marco, San Martino ai Monti, San Tommaso in Parione, san Filippo Neri e Santa Cecilia in Trastevere, situate in centro, non lontano dal Tevere. ■



COME RIDURRE L'ESPOSIZIONE PERSONALE

- Usare l'automobile meno possibile soprattutto in città. La concentrazione di inquinanti nell'abitacolo è solitamente maggiore di quella esterna.
- A piedi, in bicicletta o in auto, evitare le strade di maggior traffico: esistono applicazioni per telefoni cellulari e servizi sul web che indicano le condizioni del traffico e aiutano a scegliere i tragitti più favorevoli.
- Evitare di uscire nelle ore di punta.
- I bambini che ancora non camminano andrebbero portati nello zaino o nel marsupio, invece che nel passeggino: il particolato infatti tende a concentrarsi più in basso.
- Quando si fa jogging, scegliere percorsi nel verde ed evitare le strade. Inoltre, è preferibile correre col brutto tempo, magari quando ha appena smesso di piovere, perché la concentrazione di inquinanti nell'aria è più bassa.
- Una dieta ricca di antiossidanti contrasta gli effetti nocivi dell'inquinamento. Gli alimenti più efficaci sono: pomodori, melograno, barbabietole, arance rosse, oltre a carote, mandarini e limoni, verdure a foglia. ■

4. LE BUONE AZIONI PER UN'ARIA MIGLIORE

I morti evitabili

Gli studi che hanno valutato gli effetti sulla salute dell'aria cattiva non contengono solo brutte notizie. Gli autori non sono delle Cassandre, i numeri non sono una sentenza definitiva di malattia e morte. Al contrario, in quelle cifre c'è anche la soluzione del problema. Dalle ricerche degli epidemiologi appare infatti chiaro che la relazione fra mortalità e livelli di inquinamento è di tipo lineare. Ovvero: all'aumentare delle concentrazioni delle sostanze nocive, il numero di vittime cresce in modo proporzionale. Questo significa che anche piccoli miglioramenti della qualità dell'aria possono portare benefici notevoli. In pratica: il numero di morti attribuito a un eccesso di PM_{2,5} (o di qualsiasi altra sostanza) è all'incirca pari a quello che si potrebbe evitare se, invece che salire, la concentrazione dell'inquinante diminuisse.

Nel 2009, uno studio di Arden C. Pope, pubblicato su «New England Journal of Medicine», ha reso molto chiara la consistenza di questa relazione. «A partire dagli anni Settanta, gli Stati Uniti hanno compiuto sforzi significativi per ridurre l'inquinamento», scrive Pope. «Ma mentre questi sforzi proseguono, dobbiamo rispondere a una domanda cruciale: i miglioramenti della qualità dell'aria sono in grado di determinare progressi tangibili in termini di salute umana e longevità?» Per verificarlo, il gruppo americano ha preso in esame 211 contee e 51 aree metropolitane degli USA, mettendo in relazione i dati sull'in-

Aria da morire

quinamento da PM_{2,5}, estratti dai database dell'Environmental Protection Agency (EPA), con quelli sull'aspettativa di vita degli abitanti. Il risultato lascia davvero poco spazio ai dubbi. Nel periodo considerato, dal 1979-1983 al 1999, al calo della concentrazione dell'inquinante ha fatto riscontro un aumento dell'aspettativa di vita che ha riguardato tutta la popolazione, indipendentemente dalle caratteristiche socioeconomiche o da altri fattori che possono influenzare lo stato di salute. Il beneficio, insomma, è reale ed è «democratico», dato che si distribuisce su tutti. Quantitativamente, poi, è anche sostanziale. Nell'arco di tempo considerato, gli abitanti delle aree metropolitane, quelle in cui il miglioramento della qualità dell'aria è stato più netto, hanno guadagnato, in media, 10 mesi di vita. Sull'insieme delle contee considerate, invece, a ciascuna riduzione di PM_{2,5} pari a 10 µg/m³ ha corrisposto un incremento medio dell'aspettativa di vita di 0,61 anni (circa sette mesi).

Anche basandosi su questi risultati, ricercatori di altre parti del mondo hanno stimato quali esiti un calo degli inquinanti potrebbe determinare sul loro territorio. Per esempio, uno studio relativo al quinquennio 2001-2005 ha valutato che, a Milano, con una riduzione del 10% della concentrazione media di PM₁₀ (ovvero, da 52 a 47 µg/m³) si eviterebbero ogni anno 31 decessi per gli effetti acuti dell'inquinamento, e 210 per quelli cronici (su un totale di circa 10.300 morti registrati annualmente nella città). Più di recente, un'indagine dell'Università di Milano relativa al periodo 2003-2006 ha confermato che un calo del 20% del PM₁₀ nel capoluogo lombardo farebbe scendere di 75 unità il numero di morti annue attribuibili agli effetti a breve termine delle polveri. I due studi sono perfettamente concordi e confermano la consistenza della relazione lineare di cui si è detto all'inizio del capitolo: 75, infatti, è circa il doppio di 31, e la variazione di concentrazione considerata nel secondo studio è anch'essa doppia rispetto a quella presa in esame dal primo.

Le buone azioni per un'aria migliore

A livello europeo, la valutazione più ampia sulla mortalità evitabile è frutto di un lavoro triennale che ha coinvolto 60 scienziati di diverse nazionalità, riuniti nel progetto APHEKOM, i cui risultati conclusivi sono stati resi noti a marzo del 2012. Condotto in 25 città di 12 Paesi UE, lo studio ha interessato 39 milioni di europei e ha stimato che ciascuno di loro potrebbe guadagnare diversi mesi di vita (fino a 22) se la concentrazione di PM_{2,5} raccomandata dall'OMS fosse rispettata nel luogo in cui vive. Rientrare in quei valori, poi, permetterebbe di evitare ogni anno 19.000 morti, dei quali 15.000 per cause cardiovascolari, e farebbe risparmiare ben 31,5 miliardi di euro di spese sanitarie nelle città considerate. Oltre che per i risultati, l'indagine è importante perché riguarda una categoria di europei, gli abitanti delle città, che rappresenta il 60% di tutta la popolazione del continente. Le stime variano tuttavia nei diversi contesti, perché dipendono dai livelli di inquinamento di partenza e da altri fattori di carattere locale. I dati, città per città, sono illustrati nella tabella 1.

Tabella 1: *Mesi di vita guadagnati dagli abitanti delle 25 città del progetto APHEKOM, se fosse rispettata la concentrazione di PM_{2,5} pari a 10 µg/m³, raccomandata dall'OMS*

Città	Concentrazione media di PM _{2,5} (2004-2006)	Mesi di vita guadagnati per PM _{2,5} = 10 µg/m ³
Bucarest	38,2	22,1
Budapest	33,7	19,3
Lubiana	29,4	14,5
Barcellona	27,0	13,7
Atene	29,4	12,8
Roma	20,9	11,6
Siviglia	22,9	10,2
Valenza	23,0	9,9
Granada	21,4	9,3

Aria da morire

Città	Concentrazione media di PM _{2,5} (2004-2006)	Mesi di vita guadagnati per PM _{2,5} =10 µg/m ³
Vienna	21,6	9,3
Marsiglia	18,5	7,5
Bruxelles	19,0	7,0
Lille	16,6	5,8
Parigi	16,4	5,8
Lione	16,5	5,7
Strasburgo	16,6	5,7
Bordeaux	15,7	5,0
Bilbao	15,7	4,9
Rouen	15,3	4,6
Le Havre	14,5	4,2
Tolosa	14,2	3,6
Londra	13,1	2,5
Malaga	12,8	2,2
Dublino	10,5	0,4
Stoccolma	9,4	0

Un'analisi più ristretta di APHEKOM, condotta su 10 città, ha poi valutato gli effetti dell'inquinamento sulla salute delle persone più esposte ai gas di scarico delle auto, quelle cioè che abitano a meno di 150 metri da una strada di grande scorrimento, e che costituiscono la metà degli abitanti delle realtà urbane incluse nell'analisi. In questo gruppo – rappresentativo di una quota consistente della popolazione urbana – il 15-30% dei casi di asma, broncopneumopatie croniche ostruttive, infarti e angine è attribuibile proprio al traffico, per un costo stimato di 300 milioni di euro all'anno. Proprio come accade per la mortalità, anche in questo caso i danni potrebbero essere evitati, o fortemente ridotti, limitando le fonti di inquinamento. Ma come fare?

Le buone azioni per un'aria migliore

Limitazioni del traffico: tra grandi successi e clamorosi flop

Anche se il traffico è stato spesso oggetto di misure restrittive, volte a ridurre inquinamento, ingorghi e incidentalità, gli studi che hanno poi verificato sul campo i benefici di questi provvedimenti sono davvero pochi. Quelli che ci sono, poi, hanno dato risultati molto disomogenei e in qualche caso sorprendenti. Se, infatti, ricadute positive sono state osservate in più di un'occasione, è accaduto anche che certi provvedimenti non abbiano sortito alcun effetto, o che abbiano persino peggiorato la situazione.

Un esempio positivo è quello delle Olimpiadi di Atlanta del 1996. La città americana, capitale dello Stato della Georgia, risente di un clima continentale che nei mesi estivi fa salire la colonnina di mercurio fin oltre i 35 °C. Per evitare la congestione del traffico, e ridurre le probabilità che si determinassero picchi di ozono, durante i 17 giorni dei Giochi furono quindi introdotti cambiamenti importanti alla circolazione, con chiusura di strade e canalizzazioni del traffico. I benefici furono netti e immediati, sia sulla qualità dell'aria che sulla salute della popolazione. Nelle ore di punta, nelle principali strade cittadine si registrò una riduzione del 20% dei veicoli circolanti, alla quale fecero riscontro cali importanti della concentrazione dei principali inquinanti. Il monossido di carbonio diminuì del 18%, il PM₁₀ del 16, l'NO₂ del 7% e l'ozono si ridusse quasi di un terzo. In conseguenza di ciò, i ricoveri per asma calarono sensibilmente. Il caso è spesso citato quando si vuole sottolineare l'utilità dei blocchi del traffico, ma non è certamente unico. In una situazione analoga, i Giochi Asiatici di Busan (Corea del Sud) del 2002, le restrizioni alla circolazione produssero una riduzione dei ricoveri per asma nei bambini, seppure quantitativamente meno importante. E anche in altre parti del mondo misure simili hanno portato a miglioramenti. Eppure – si diceva – ci sono stati anche provvedimenti che hanno sortito l'effetto esattamente

Aria da morire

opposto a quello che si proponevano. È accaduto, per esempio, a Delhi, in India. All'inizio degli anni Duemila, in seguito a una decisione della Corte suprema, alla città fu imposto di introdurre mezzi pubblici alimentati a GPL, così da ridurre l'inquinamento dovuto al benzene; a cinque anni di distanza, però, i livelli di questo inquinante nell'aria erano saliti del 60%. All'origine del flop c'era stato l'incremento, notevolissimo e imprevisto, della diffusione di automobili private e veicoli a due ruote con motore a benzina, che fra il 2001 e il 2007 erano passati da tre milioni e mezzo a più di cinque milioni.

Vicende come questa insegnano che quando si pianificano interventi per ridurre l'inquinamento da traffico bisogna tenere in conto moltissime variabili. Rifarsi a schemi che hanno ottenuto buoni risultati all'estero può risultare infruttuoso o addirittura controproducente, perché i risultati saranno comunque sempre influenzati da fattori di carattere locale, quali la conformazione specifica del territorio, il clima, la presenza di altre sorgenti inquinanti e, non ultimo, le abitudini dei cittadini e la loro attitudine a cambiare mentalità e adattarsi ai nuovi modelli. Così, se l'introduzione delle *low-emission zone* (zone a bassa emissione, in cui i mezzi più inquinanti non sono ammessi) ha prodotto risultati spesso modesti, accade che in qualche caso la costruzione di un cavalcavia sia invece già sufficiente a risolvere situazioni critiche e localizzate. È successo, per esempio, in una zona particolarmente congestionata del Galles del Nord. Dopo l'apertura di un cavalcavia, il traffico di mezzi pesanti nell'area più critica si è ridotto del 50%, e il PM_{2,5} è calato del 29%. Un questionario sottoposto ai residenti della zona (al quale per la verità hanno risposto in pochi) ha verificato che la misura aveva fatto diminuire l'incidenza di raffreddori e infiammazioni degli occhi. Analogamente, provvedimenti mirati possono risolvere le criticità che, in molte città, si creano nelle strade strette, trafficate e fiancheggiate da palazzi alti. Gli esperti le chiamano *street can-*

Le buone azioni per un'aria migliore

yon (canyon stradali) e sono vere e proprie camere a gas, dove il ricambio dell'aria è quasi nullo. L'unica soluzione, allora, è deviare il traffico.

Congestion charge & co. Milano e Londra, due casi esemplari

In Italia, un risultato non corrispondente alle attese è stato ottenuto a Milano con il vecchio Ecopass, in vigore dal 2008 al 2011, che prevedeva un ticket di ingresso al centro per i veicoli più inquinanti (dagli Euro 0 agli Euro II). Nelle previsioni, questo sarebbe dovuto bastare a far diminuire il PM_{10} del 30%. Nel 2010, l'allora sindaco Letizia Moratti, che aveva voluto il provvedimento, nominò una commissione di esperti per valutare i risultati, resi poi pubblici a marzo dell'anno seguente, poco prima delle elezioni amministrative. I dati sul PM_{10} erano disarmanti. Soltanto nei primi 22 giorni del 2010, complice anche una situazione meteoclimatica sfavorevole, si erano registrati 16 superamenti della soglia di $50 \mu g/m^3$, per 11 volte si erano oltrepassati i $75 \mu g/m^3$ e in tre occasioni le polveri erano volate fin sopra i $100 \mu g/m^3$. Inoltre, le centraline di rilevamento collocate all'interno dell'area sottoposta alla limitazione del traffico avevano fatto registrare medie persino più elevate di quelle poste al di fuori. Furono anche questi risultati a spingere la commissione a suggerire di potenziare le misure, ma poiché le elezioni erano vicine, e i partiti che appoggiavano il sindaco erano contrari a quello che per loro era solo l'inasprimento di una tassa inutile, si decise di rinviare tutto a dopo il voto. Ecopass rimase dunque in vigore fino a dicembre, e fu sostituito a gennaio 2012 da un nuovo regime, voluto fortemente dalla nuova amministrazione di Giuliano Pisapia: l'Area C. Prima di parlarne, occorre imparare però la lezione di Ecopass, anche perché questa è davvero molto diversa da quella che potrebbe apparire più ovvia. Sulla base dei rilevamenti, si disse infatti che bisognava abolire al più presto

Aria da morire

la *pollution charge*, una «tassa sull'inquinamento» diversa dalle *congestion charge* (tasse sul traffico) che hanno l'intento di ridurre la congestione stradale. L'interpretazione degli esperti, però, fu un'altra: i risultati deludenti dipendevano dall'aver considerato l'inquinante sbagliato.

Come si è visto nel capitolo precedente, il PM₁₀ deriva da molte sorgenti, ma il particolato più piccolo e, in particolare, il black carbon, ha la sua fonte principale nei gas di scarico delle automobili. Accade tuttavia che i metodi di rilevamento che analizzano il PM₁₀ – quelli cioè che erano stati usati per verificare l'efficacia di Ecopass – abbiano uno scarso potere discriminatorio nei confronti delle polveri ultrafini. E in effetti, quando è stato valutato l'effetto della *pollution charge* sul black carbon, il risultato è cambiato: nel 2011, uno studio finanziato dalla Società Italiana di Medicina Generale ha trovato che la concentrazione dell'inquinante al di fuori dell'area sottoposta alla limitazione era circa doppia rispetto a quella rilevata al suo interno. Nessuna differenza è stata invece misurata per le polveri più grandi. Nel capoluogo lombardo, il monitoraggio è poi proseguito dopo l'introduzione di Area C, che prevede il divieto di accesso in centro ai veicoli inquinanti (da Euro 0 a Euro II, più i diesel Euro III) e un ticket di ingresso a tutti gli altri, con un numero limitato di transiti anche per i residenti. Nei primi sei mesi dall'entrata in vigore, sono state condotte due campagne di misurazioni sul black carbon e i rilevamenti hanno confermato che, nella zona sottoposta alla limitazione, la concentrazione dell'inquinante è il 30-40% inferiore che all'esterno. L'effetto sulla salute dei residenti non è tuttavia stato indagato, e sarebbe anche difficile da valutare, perché Area C copre appena il 4,5% del territorio cittadino, e i benefici riguarderebbero soltanto coloro che vivono al suo interno. Non va tuttavia dimenticato che, in base alle ricerche più recenti, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha ipotizzato che una quota consistente delle conseguenze per la sa-

Le buone azioni per un'aria migliore

lute attribuibili all'intero particolato sia causata proprio dal black carbon. In linea teorica, quindi, gli strumenti che lo misurano dovrebbero essere diffusi almeno quanto quelli che valutano il PM₁₀, se si vuole avere un'idea completa dell'efficacia delle misure antitraffico e dei benefici che queste possono portare alla salute dei cittadini. Invece non è così: questo inquinante non è rilevato dalle centraline per il monitoraggio della qualità dell'aria neppure nelle grandi città che, molto prima di Milano, hanno avviato piani per la riduzione del traffico. Una su tutte: Londra.

La *congestion charge* della capitale inglese, entrata in vigore il 17 febbraio del 2003, copre oggi l'1,4% della superficie della Great London, dopo un tentativo di estenderla al 2,6 del territorio, durato dal 2007 al 2011 e poi abbandonato. Il miglioramento dell'inquinamento nell'area interessata avrebbe dovuto rappresentare la logica conseguenza del provvedimento. Eppure, a fronte di una riduzione del traffico, i livelli di PM₁₀ e ossidi di azoto si sono mantenuti pressoché costanti dal 2003 fino al 2008, anno al quale si riferisce l'ultimo rapporto ufficiale. Per le polveri, che viaggiano facilmente anche su lunghe distanze, il dato si spiega con la presenza di altre sorgenti inquinanti, dentro e fuori la zona sottoposta alla regolamentazione. La mancata diminuzione degli ossidi di azoto, e, in particolare, dell'NO₂, è invece l'effetto indesiderato del potenziamento dei mezzi pubblici alimentati a diesel. Ci si aspetta quindi che un'attenzione maggiore all'impatto ambientale del trasporto collettivo, con l'introduzione di veicoli elettrici o alimentati a gas, possa far diminuire questo inquinante, che deriva quasi esclusivamente dai tubi di scappamento.

Peraltro, col tempo, anche l'iniziale beneficio sui flussi di traffico si è fortemente ridotto: all'indomani dell'entrata in vigore della tassa, il numero di vetture circolanti nell'area coinvolta dal provvedimento era calato del 30%. Ma nell'ultimo resoconto dell'azienda dei trasporti londinesi sta scritto che le automobili che oggi viaggiano nella zona sottoposta a tassazione sono sostan-

Aria da morire

zialmente le stesse del 2002, anche se con gli anni la tecnologia le ha rese meno inquinanti.

Sono invece ancora evidenti i benefici sulla riduzione del traffico della *congestion charge* di Stoccolma, entrata in vigore nel 2007, dopo una sperimentazione durata sei mesi e dopo un referendum fra i cittadini che l'aveva approvata (ma la partecipazione non era stata alta). Nella capitale svedese, che ha limitato la circolazione in tutto il centro cittadino, la riduzione del 30% delle automobili circolanti è rimasta costante dall'entrata in vigore fino al 2011. Inoltre, un sondaggio di opinione fra gli abitanti ha mostrato che, nello stesso periodo, coloro che erano favorevoli all'iniziativa sono passati dal 36 al 70%.

L'area C di Milano ha raccolto la lezione di Londra e Stoccolma e, ovviamente, quella di Ecopass. Per evitare polemiche, il provvedimento è seguito a un referendum nel quale il 79% dei votanti si è espresso in favore di misure che limitassero il traffico e lo smog, e potenziassero i mezzi pubblici. Per scongiurare fallimenti, poi, la misura è stata avviata in via sperimentale e con l'obiettivo dichiarato di ridurre il traffico, e non l'inquinamento. In effetti nei primi sei mesi dall'entrata in vigore, il numero di auto circolanti in centro è diminuito del 34,1%.

Sul versante dell'aria, nello stesso periodo sono state registrate riduzioni delle emissioni di PM_{10} e ossidi di azoto derivati dal traffico (rispettivamente, del 19 e del 10%). Ma se – come si è visto – le concentrazioni rilevate di black carbon sono diminuite all'interno della zona interessata, non è chiaro se meno tubi di scappamento circolanti in centro città abbiano fatto altrettanto per i livelli di questi due inquinanti nell'aria. Il rapporto ufficiale a sei mesi dall'entrata in vigore non li riporta, ma per tutti i motivi esposti sopra (limitata estensione del territorio interessato, presenza di sorgenti inquinanti di altro tipo, capacità del PM_{10} di viaggiare anche per chilometri), la risposta potrebbe anche essere no, e non sarebbe sorprendente.

Le buone azioni per un'aria migliore

Peraltro, in più occasioni gli artefici di Area C hanno sottolineato che per ridurre l'inquinamento in una città grande come Milano bisogna agire su molti fronti. Soprattutto, occorre coinvolgere anche i comuni della cintura, giacché gli inquinanti non rispettano certo le limitazioni alla circolazione imposte agli automobilisti.

Tecnologie green per riscaldamenti e automobili

Accanto all'istituzione delle *congestion charge*, comunque, gli amministratori locali e le autorità nazionali e sovranazionali hanno fortunatamente davvero molte frecce al loro arco per migliorare la qualità dell'aria. Le più facili da lanciare hanno un bersaglio fermo: i sistemi di riscaldamento. In Italia sono già in vigore leggi che stabiliscono sia i periodi dell'anno in cui si possono utilizzare gli impianti, sia le temperature che dovrebbero essere rispettate al fine di garantire il comfort, senza però bruciare combustibile inutilmente. Inoltre, a partire dall'inizio degli anni Novanta, e con maggiore frequenza nel decennio successivo, sono state varate direttive europee, leggi nazionali e regionali che hanno reso via via più stringenti le norme per migliorare l'efficienza energetica delle caldaie, imponendo controlli periodici e favorendo il ricorso a fonti rinnovabili e meno inquinanti. E tuttavia un miglioramento della qualità dell'aria, specie per quel che riguarda il PM₁₀, può essere ancora ottenuto. Per esempio – come si è visto nel capitolo due – ponendo maggiore attenzione ai sistemi di riscaldamento più inquinanti, come caminetti e stufe che usano combustibili a legna o carbone, o addirittura le vecchie caldaie a gasolio o a nafta. Ma anche laddove si utilizzino già combustibili poco inquinanti, come il metano, esistono ancora margini di miglioramento, raggiungibili attraverso l'impiego di tecnologie più efficienti, come le pompe di calore. Queste macchine estraggono il calore dall'aria

Aria da morire

e lo trasferiscono all'acqua usata nell'impianto di riscaldamento; consumano molto meno degli impianti tradizionali e, di conseguenza, inquinano davvero poco (i modelli più efficienti abbattono le emissioni del 50%). Utilizzate perlopiù in grandi strutture, le pompe di calore sono ormai disponibili anche per uso domestico e questa tecnologia è anche indicata dall'Unione Europea come quella di riferimento per abbattere le emissioni di gas serra.

Se però si vuole davvero incidere sulla qualità dell'aria, non va dimenticato che, sebbene gli interventi sui sistemi di riscaldamento siano tutto sommato più semplici da pensare e da monitorare, è sul traffico che si deve agire principalmente, perché, specie nelle città, la grande maggioranza degli inquinanti deriva dai trasporti su strada, siano essi di merci o passeggeri, pubblici o privati. Se si guarda sul lungo periodo, allora, le limitazioni alla circolazione delle automobili in centro diventano una tappa irrinunciabile per raggiungere obiettivi decisamente più ambiziosi, che rendano le città più vivibili, e che richiedono però interventi coerenti fra loro e ben pianificati. Primo fra tutti, quello di eliminare dalla circolazione le automobili più inquinanti, e rendere le nuove ancora più «green». Su un dato almeno, infatti, ci sono pochi dubbi: finora, la misura di gran lunga più efficace è stata proprio l'imposizione di limiti di emissioni alle vetture di nuova costruzione. Gli avanzamenti tecnologici che via via hanno condotto i veicoli circolanti in Europa a passare dallo standard Euro I fino all'Euro VI, in vigore dal 2014, sono i veri artefici del mancato aumento dell'inquinamento, a fronte di una diffusione sempre più massiccia delle automobili. Molto però può essere ancora fatto, e la frontiera più vicina, capace di coinvolgere tanto i mezzi privati quanto quelli pubblici, è senz'altro il motore a metano o Gpl, ibrido, oppure elettrico. A partire dal 2011, questo settore ha conosciuto un vero e proprio boom, determinato peraltro dalla crisi economica, più che da preoccupazioni di tipo ecologista: secondo l'Osservatorio Metanauto, all'inizio del 2012 con una

Le buone azioni per un'aria migliore

spesa di 10 euro un'auto a metano percorreva 158 km, una a Gpl 97, un diesel 69 e una vettura a benzina 58. Le esigenze di portafoglio coincidono tuttavia con quelle dell'ambiente. Sul fronte delle emissioni, l'auto elettrica è certamente la soluzione meno impattante, specie se le batterie sono ricaricate in stazioni dotate di pannelli solari. Ma anche i veicoli ibridi o a gas inquinano decisamente meno rispetto a quelli alimentati a diesel e benzina. Infatti, oltre a produrre meno gas serra, i motori a metano e Gpl non emettono quasi polveri sottili, e i dual fuel metano-gasolio ne sprigionano circa il 60% in meno rispetto ai diesel (resta però invariato il particolato generato dall'usura di pneumatici e freni). Anche le emissioni di ossidi di azoto, biossido di zolfo, benzene, idrocarburi policiclici aromatici e monossido di carbonio sono fortemente ridotte. In conseguenza di ciò, quasi ovunque, le limitazioni alla circolazione dei privati non coinvolgono le automobili di questo tipo. Per il trasporto collettivo, poi, in molti comuni è già in atto la conversione dei mezzi pubblici verso soluzioni meno inquinanti, tramite la sostituzione dei veicoli vecchi con modelli che usano carburanti alternativi, o l'elettricità, e la meno costosa trasformazione dei motori da diesel a gas o a dual fuel.

La mobilità del futuro

Interventi di questo tipo sono perfettamente in linea anche con quelli attuati in altri Paesi UE, e indicati tra l'altro nel *Libro Bianco* sui trasporti che la Commissione Europea ha pubblicato nel 2011. Guardando in avanti fino al 2050, il testo traccia una *road map* delle azioni necessarie ad armonizzare lo sviluppo del settore nel vecchio continente, al fine di realizzare quello spazio unico dei trasporti, nel quale viaggiare fra i diversi Stati membri sia facile quanto muoversi all'interno di uno solo di loro. Uno spazio in cui la mobilità sia meno inquinante e sostenibile (con

Aria da morire

una riduzione del 60% dell’immissione in atmosfera di gas serra), più sicura, ma anche in grado di sostenere e spingere lo sviluppo economico. Il testo si concentra soprattutto sui trasporti sulle lunghe distanze, sottolineando la necessità di costruire una rete ferroviaria europea per merci e passeggeri, di integrarla con il sistema degli aeroporti e con quello di navi e traghetti. Ma mette anche in evidenza come tutta l’efficienza di un «macrotrasporto» ben pianificato può perdersi negli ultimi chilometri, se gli spostamenti locali di merci e passeggeri sono inadeguati.

Per le merci, il problema sta nell’«ultimo miglio», il tratto cioè che va dall’autocarro (ma sarebbe meglio dal treno) alla destinazione finale, e che si addentra nelle strade delle città. Dal punto di vista dell’inquinamento urbano, questo tipo di trasporto è forse il peggiore, anche perché spesso è fatto con furgoncini tutt’altro che ecologici. C’è però chi sta lavorando per cambiare la situazione. A Padova, per esempio, è attivo un servizio di consegna merci con mezzi a metano, che permette ai corrieri che vi aderiscono di coprire gli ultimi chilometri. Vicenza, invece, ha messo in campo un’iniziativa più radicale, chiudendo l’accesso al centro a tutti i veicoli di tipo tradizionale, inclusi quelli degli spedizionieri. Per rifornire i negozi e i magazzini della zona a traffico limitato, nel 2005 è stato attivato un servizio pubblico di trasporto merci, che si avvale di mezzi elettrici ed è gestito dalla Veloce (Vicenza Eco Logistic CEnter), una società detenuta per il 55% dal Comune, e per la quota restante dalle categorie economiche locali (Confindustria, Confindustria, Associazione Piccola e media Industria, Associazione Artigiani, Confederazione Nazionale dell’Artigianato). Come c’era da attendersi, l’iniziativa non è piaciuta alle società di spedizioni, che, riunite in associazione, hanno presentato più di un ricorso. A mettere fine alla controversia è stata, nel 2009, una sentenza del Consiglio di Stato, che ha riconosciuto che la Veloce svolge un servizio di pubblica utilità volto a salvaguardare l’ambiente e il patrimonio culturale. Da allora, molti corrieri si

Le buone azioni per un'aria migliore

sono adeguati e hanno stipulato accordi con la società; i più recidi invece inviano le merci in centro su mezzi a pedali dotati di cestoni per il trasporto, o su carrelli spinti a mano. Dalla vicenda si traggono due lezioni: la prima – incoraggiante – è che le alternative, a volerle cercare, si trovano. La seconda – negativa, ma prevedibile – è che c'è sempre qualcuno che si oppone al cambiamento.

Quest'ultimo aspetto è solo apparentemente ovvio e non va sottovalutato, perché può diventare critico quando il nuovo corso incide sulle abitudini di molte persone. Se già l'introduzione di un sistema alternativo per la consegna delle merci ha fatto arricciare il naso ai pochi che dovevano cambiare le loro abitudini per adeguarsi, ci si può facilmente immaginare a quali resistenze vadano incontro i piani che riorganizzano la mobilità di una città intera. Prova ne sia il caso di Milano, dove il ricorso del gestore di un parcheggio in centro ha fatto sospendere l'Area C per diversi mesi.

Ripensare le strade e i quartieri

La Commissione Europea sottolinea che, in un sistema più efficiente e meno inquinante, vada ricercata «una più ampia disponibilità di alternative di trasporto pubblico, come pure la possibilità di spostarsi a piedi o in bicicletta». E tuttavia, un obiettivo simile deve necessariamente passare attraverso una rivoluzione copernicana nella concezione delle strade, non più viste come luogo di transito, ma come spazio comune e condiviso, luogo cardine della vita di quartiere. Rientra pienamente in questa nuova attitudine l'istituzione delle «aree 30», nelle quali la velocità delle automobili non può superare i 30 chilometri orari. Sotto il profilo della riduzione degli inquinanti, ci si aspetta che, determinando un consumo inferiore di carburante e di pneumatici, queste zone, se abbastanza estese, possano portare anche già di per sé a un miglioramento della qualità dell'aria. Non è però questo il

Aria da morire

loro obiettivo primario. Se ci si sforza di andare un po' più in là del proprio naso, e si guarda al futuro, si capisce facilmente che rendendo le strade più sicure le «aree 30» possono promuovere le due forme di mobilità meno inquinanti che esistano: l'andare a piedi o in bicicletta. È stato infatti dimostrato che se un pedone è investito da un'automobile che viaggia a 50 km/h ha il 30% di probabilità di sopravvivere, mentre sopravvive nel 90% dei casi se l'auto va a 30 km/h. Peraltro, considerato che circa un terzo degli spostamenti in città copre distanze inferiori ai tre chilometri, e che il traffico e i semafori sono gli elementi che rallentano di più le automobili, l'istituzione del limite ha un effetto praticamente nullo sui tempi di percorrenza. Per tutti questi motivi, le aree in cui la velocità va ridotta sono in rapida diffusione, specie all'estero. Coprono ormai il 20% del territorio parigino e il 18% delle strade di Londra; in Germania, le oltre 17.000 «zone 30» esistenti interessano dal 70 al 90% della popolazione che vive in città. In Italia, i capoluoghi con aree a velocità calmierata sono una sessantina, ma si tratta perlopiù di singole strade. È però significativa l'esperienza di Torino, dove dal 2009 un simile provvedimento riguarda parte del quartiere di Mirafiori Nord. I risultati sono ottimi: da quando è in vigore la Zona 30, gli incidenti con feriti gravi sono passati da 15 all'anno a zero, e i costi sostenuti per adeguare il territorio al nuovo limite sono già stati ripagati nel primo anno, grazie al risparmio sulle spese sanitarie.

Non a caso, l'istituzione di Aree 30 è anche una delle misure chieste a gran voce dal Movimento Salvaciclisti per poter usare con più sicurezza la bicicletta negli spostamenti quotidiani. Nato su modello dell'inglese *Cities fit for cycling*, il movimento italiano ne riprende anche le istanze che, accanto ai limiti di velocità, comprendono interventi per ridurre la pericolosità degli incroci, la nomina di commissari cittadini con il compito di sviluppare la ciclabilità, e la creazione di reti ciclabili adatte a sostenere spostamenti che non sono un hobby domenicale, ma un modo

Le buone azioni per un'aria migliore

alternativo e non inquinante per raggiungere i luoghi di lavoro, accompagnare i figli a scuola e così via. Paradossalmente l'Italia, con un clima che dovrebbe favorire lo sviluppo di questo mezzo di trasporto, e avendo alcune fra le industrie produttrici di bici migliori del mondo, è tuttavia molto indietro rispetto agli altri Paesi europei. Basti pensare che l'estensione della rete ciclabile di Helsinki, Stoccarda e Hannover eguaglia quella di tutti i capoluoghi di provincia italiani messi assieme. A Copenaghen, poi, il 67% degli spostamenti avviene sulle due ruote, una quota per noi impensabile. In rapporto alla popolazione, le città italiane meglio attrezzate per chi viaggia sul sellino sono Reggio Emilia, Mantova e Lodi, che hanno rispettivamente 34, 26 e ancora 26 chilometri di piste per abitante. Se invece si considera l'indice di ciclabilità – che valuta anche la segnaletica dedicata, la presenza di un piano della mobilità ciclabile, di un servizio di bike-sharing, di cicloparcheggi di interscambio per accedere ai trasporti pubblici e altri parametri – i voti più alti vanno a Brescia, seguita da Reggio Emilia e Ferrara.

VERSO LA CITTÀ SENZ'AUTO

L'ultima frontiera della città a misura d'uomo è quella senz'auto, dove le forme di mobilità alternative permettono di spostarsi agevolmente ovunque, anche grazie a una progettazione e a un'urbanistica che favorisce l'andare a piedi e in bicicletta. Molti la ritengono un'utopia, perché – obiettano – come si fa a vivere in città senza mai prendere la macchina? Eppure, a pensarci bene, una città così esiste già anche in Italia, e non è neppure piccola. Venezia è certamente un luogo particolare,



Aria da morire

ma è la dimostrazione più lampante del fatto che possono esistere anche modelli urbani alternativi.

Diversi esperimenti in questo senso si stanno svolgendo in Europa (vedi tabella 2). E la prima tappa, spesso, è quella di togliere i parcheggi da dove si vogliono eliminare le automobili, creando però sempre la valida alternativa di un servizio pubblico efficiente. Per esempio, alla London Bridge Tower (detta anche Shard of Glass), progettata da Renzo Piano, lavorano 7000 persone e non c'è neppure un parcheggio.

Tabella 2: *Le principali sperimentazioni europee (dal sito Scienzainrete.it)*

Città	Progetto	Numero di unità abitative	Caratteristiche
Friburgo	Vauban	2000	<ul style="list-style-type: none">• Integrazione trasporti pubblici e rete ciclabile• Servizi di car-sharing• Limiti di velocità all'interno (30 km/h e 5 km/h)• 50% di residenti con auto propria; ma è richiesto per l'acquisto il parcheggio ai limiti dell'area• Energia solare

Le buone azioni per un'aria migliore

Città	Progetto	Numero di unità abitative	Caratteristiche
Tubinga	Stuttgarter S. Franzosisches V.	2000 (numero residenti)	<ul style="list-style-type: none"> Conversione base militare Posti auto non costruiti Solo 40% di famiglie con auto in rapporto all'80% riscontrate nei quartieri circostanti
Norimberga	Langwasser	900	<ul style="list-style-type: none"> Integrazione con il trasporto pubblico Larga area pedonale Aree di sosta solo nella fascia esterna
Edimburgo	Stateford Green	251	<ul style="list-style-type: none"> Progetto di rigenerazione urbana Solo il 12% di famiglie possiede l'auto Vie dedicate alle biciclette e zone verdi Servizi di car sharing

Aria da morire

Città	Progetto	Numero di unità abitative	Caratteristiche
Londra	BedZED (Quartiere a zero emissioni)	100	<ul style="list-style-type: none">• 100% energia rinnovabile• Integrazione tra uffici e spazi residenziali• Punto di ricarica per veicoli elettrici• Shopping via internet
Amsterdam	GWL-terrain	600	<ul style="list-style-type: none">• Rigenerazione degli impianti idrici precedenti• Costruzione del centro della comunità• Servizio di car-sharing• Integrazione trasporti pubblici e rete ciclabile• 110 spazi di sosta al limite esterno dell'area

Se il mezzo pubblico conviene

Anche sul sistema pubblico dei trasporti, altro cardine attorno al quale va pensata una città sempre più libera dalle automobili, l'Italia è parecchio indietro. Basti guardare i dati esposti nella tabella

Le buone azioni per un'aria migliore

3, sull'estensione delle linee metropolitane delle principali città europee. Quelle dello stivale sono in fondo alla classifica, e vengono molto dopo centri che hanno un numero inferiore di abitanti.

Tabella 3: *Estensione delle linee metropolitane in alcune città europee.*
(rielaborata dal sito *Scienzainrete.it*)

Città	Abitanti	Linee della metropolitana	Lunghezza delle linee (km)
Londra	8.174.100	12	416
Mosca	11.551.930	12	278
Madrid	3.273.049	12	233
Parigi	2.257.981	16	215
Stoccarda	581.092	14	192
Stoccolma	843.139	3	149
Berlino	3.501.872	9	145
Valencia	810.064	3	133
Barcellona	1.619.337	6	112
Amburgo	1.789.529	3	101
Monaco di Baviera	1.378.176	6	86
Francoforte	679.664	7	85
Amsterdam	783.364	4	81
Milano	1.348.769	3	74
Vienna	1.714.142	5	65
Praga	1.257.158	3	54
Bruxelles	1.150.692	3	44
Roma	2.786.034	2	36
Napoli	957.012	3	32
Budapest	1.740.041	3	35
Helsinki	596.233	2	21
Torino	906.089	1	9

Eppure, è impensabile chiedere ai cittadini di lasciare a casa l'auto se non sono offerte loro delle alternative valide. Anche

Aria da morire

perché, come sottolinea la Commissione Europea, nel perseguire gli obiettivi di sostenibilità e di minore inquinamento dei trasporti «la riduzione della mobilità non è un'opzione praticabile». Certo, gli italiani sono particolarmente affezionati alle quattro ruote. Ed è pur vero che l'indice di motorizzazione del nostro Paese (ovvero, il numero di auto per 1000 abitanti) è pari a 614: secondo, in Europa, solo a quello del Lussemburgo (678) e molto superiore alla media UE (473). Germania, Francia, Regno Unito e Spagna sono tutti sotto quota 500. Ma le ragioni sono anche oggettive: il 70% dei pendolari italiani usa il mezzo privato, ma il 69% di loro dichiara che sarebbe disponibile a passare al treno, se il servizio fosse migliore. Non si tratta solo di avere mezzi adeguati e moderni, magari meno inquinanti, veloci e (persino?) puntuali. L'efficienza si misura anche dalla presenza di parcheggi di interscambio, che permettano di lasciare l'auto alla stazione e raggiungere il binario della metropolitana in tempi ragionevoli, da una multimodalità che permetta di passare agevolmente da un mezzo pubblico a un altro, dalla presenza di corsie dedicate, così che il trasporto pubblico non sia rallentato da quello privato. Tutte soluzioni che dovrebbero avere l'obiettivo di rendere i mezzi collettivi più convenienti dell'auto, in termini di praticità e risparmio di denaro. Proprio quella dei costi e del risparmio potrebbe diventare col tempo una spinta non indifferente al cambiamento di mentalità degli italiani riguardo la mobilità urbana. Secondo Legambiente, la scelta di abbandonare l'auto farebbe risparmiare annualmente in Italia circa 3000 euro pro capite, se il proprietario percorre attorno ai 10.000 chilometri ogni anno. La cifra è calcolata per un modello di media cilindrata, sottraendo ai costi del mezzo (pari a circa 5000 euro, per assicurazione, carburante, ecc.) i 2000 euro che si spenderebbero per abbonamenti ai mezzi pubblici, il noleggio di un'auto per le vacanze e qualche taxi.

Della possibilità di convertire il parco dei mezzi pubblici con

Le buone azioni per un'aria migliore

veicoli a gas o ibridi, meno inquinanti, si è già detto. Alcune città stanno poi tornando ai filobus e ai tram, alimentati a elettricità, che in molte parti d'Italia erano quasi scomparsi attorno agli anni Ottanta-Novanta. Ma la mobilità alternativa riscopre e rinnova anche un mezzo ancora più tradizionale: la funivia. Abituati come siamo a vedere le cabine che portano gli sciatori sulle piste in inverno, quasi ci siamo dimenticati che quel sistema è molto simile alle funicolari e alle cremagliere che si inerpican sulle cime delle città: si tratta sempre di una cabina trainata da un cavo. E in pochi sanno che questi sistemi non vanno soltanto in su e in giù, ma anche in orizzontale, su rotaie. Quest'ultima tipologia è quella del minimetrò. In Italia ce n'è uno a Perugia, lungo quattro chilometri, che collega la periferia ovest con il centro ed è stato inaugurato nel 2008. Ma sistemi analoghi sono in funzione anche a New York, Hong Kong, Il Cairo, Detroit e molte altre città.

Auto privata addio?

La domanda crescente di trasporto pubblico, presente un po' in tutti i Paesi, è una sfida che va raccolta se l'obiettivo è migliorare la qualità dell'aria. La crisi economica rende il momento propizio, ma ad accrescere ulteriormente le probabilità di vincere la lotta contro il traffico, si aggiunge una novità: ossia che in molta parte dell'Occidente, il declino dell'automobile è ormai un fatto culturale, oltre che economico. In un'approfondita analisi pubblicata nel 2012, il settimanale inglese «Economist» nota che, sebbene nei Paesi OCSE gli spostamenti con mezzi privati rappresentino ancora il 70% di tutti quelli su quattro ruote, in alcuni Stati chiave il declino dell'auto è iniziato molto prima della crisi economica. Tanto che si parla di un «picco dell'automobile» (non dissimile dal picco del petrolio in ambito energetico) che sarebbe molto prossimo, e dopo il quale questo settore, fondamentale nel se-

Aria da morire

condo Novecento per lo sviluppo delle economie occidentali, sarà destinato a perdere progressivamente di importanza. Del resto, il numero di chilometri percorsi ogni anno da ciascuna vettura – parametro giudicato affidabile per prevedere che cosa accadrà in futuro – è in diminuzione costante dal 1990 in Francia, Germania, Regno Unito e Giappone. Ed è significativo un altro dato: a guidare meno sono soprattutto i giovani, che a differenza dei loro genitori vedono l'auto sempre più come un mezzo e meno come un fine. Questo trend ha due importanti risvolti: da un lato i giovani diventano gli utenti principali dei servizi di car-sharing, e dall'altro operano uno spostamento concettuale dell'automobile dall'ambito dei beni di consumo a quello dei servizi.

Diffuso ormai in molte città, il car-sharing è ritenuto dagli esperti del settore conveniente per chi percorre al volante meno di 10.000 chilometri all'anno, oppure per le famiglie che scelgono di non avere una seconda auto. A rendere questa opzione meno inquinante del mezzo privato è il fatto che i servizi di car-sharing dispongono sempre di automobili nuove, la cui frequente manutenzione garantisce che i livelli di emissioni rimangano contenuti. Sotto il profilo della sostenibilità ambientale, poi, si stima che una vettura in car-sharing che effettua 20.000 chilometri all'anno sostituisca almeno otto veicoli privati che percorrono complessivamente nello stesso arco temporale 27.000 chilometri, con una riduzione dell'impiego di oltre il 30%. La più grande società mondiale del settore è l'americana Zipcar, che con 11.000 veicoli serve 767.000 abbonati di Stati Uniti, Canada, Regno Unito, Spagna e Austria. In Italia, accanto ad alcune iniziative singole, esiste una rete che, sostenuta dal Ministero dell'Ambiente, riunisce i servizi di una quindicina di città e permette con una sola tessera di prelevare le auto in qualsiasi stazione della penisola. Gli abbonati sono circa 20.000, e hanno il vantaggio di poter entrare nelle zone a traffico limitato, di parcheggiare gratuitamente nelle zone di sosta a pagamento, di poter usare le corsie preferenziali. Si

Le buone azioni per un'aria migliore

chiama Iniziativa car-sharing (www.icscarsharing.it) e coinvolge le seguenti città: Biella, Bologna, Brescia, Firenze, Fossano, Genova, Milano, Padova, Palermo, Parma, Roma, Savona, Scandicci, Sesto Fiorentino, Torino e Venezia.

Il modello car-sharing si presta poi molto bene all'introduzione dell'automobile elettrica in città. A Parigi, il servizio Autolib, con vetture elettriche, è attivo dal 2011 e il bilancio del primo anno di esercizio parla già di 37.000 utenti (in una città dove solo un abitante su due ha l'auto di proprietà), con un incremento costante di 1200 nuove tessere al mese. Considerando i comuni dell'Île de France, la società che gestisce la rete ritiene di poter arrivare a quattro milioni di utenti, che si muoverebbero su auto a emissioni inquinanti praticamente nulle. A favorire il successo dell'iniziativa c'è senz'altro un'idea di una mobilità diversa che ha fatto breccia da tempo nel cuore dei parigini, già protagonisti in passato dell'enorme successo di Velib, servizio di bike-sharing che dispone oggi di ben 16.000 biciclette e 1200 punti di prelievo (Milano ne ha circa 200). Ma va detto anche che il car-sharing elettrico della capitale francese è davvero molto comodo: dopo un anno erano già attive 558 stazioni, e il progetto ne prevede oltre 6.000, collocate a una distanza di 400 metri una dall'altra. Se non è come avere l'automobile parcheggiata sotto casa, ci manca davvero poco.

Tutte queste esperienze di mobilità sostenibile, autorizzano a sperare in un graduale cambiamento di mentalità a tutti i livelli decisionali, anche e soprattutto nel nostro Paese. Perché, è inutile nasconderselo, il coraggio di scontentare pochi interessi particolari, e la lungimiranza di scelte non legate alla contingenza elettorale, sono gli ingredienti indispensabili per le «buone azioni» della politica, quella che sa pensare al bene del nostro ambiente e della nostra salute.

MENO TRAFFICO, TANTI VANTAGGI

I benefici delle limitazioni alla circolazione non si fermano alla qualità dell'aria. Perché l'uso eccessivo dell'auto nuoce alla salute (e all'ambiente) in molti modi diversi. Per esempio: il traffico genera incidenti. Dirlo è quasi banale, ma il dato va ricordato: a Milano, nei primi sei mesi di Area C gli incidenti nella zona interessata sono diminuiti del 28% e quelli con feriti del 24%. Ma questi provvedimenti hanno anche vantaggi molto meno diretti. Per esempio, quello di combattere obesità e sovrappeso e di incentivare l'attività fisica. Certo, non ci si può aspettare che chi conduce una vita totalmente sedentaria (in Italia, il 38,8% della popolazione) inforchi la bici da un giorno all'altro e inizi a pedalare per spostarsi in città. Ma per chi è abituato a camminare soltanto fino all'auto parcheggiata sotto casa anche allungare un po' il tragitto, per raggiungere la fermata del tram, può portare un beneficio. E, soprattutto, può innescare un cambio di atteggiamento. Perché lo sport funziona proprio così: si comincia da poco e poi si aumenta, e non è solo una questione di muscoli allenati. Per livelli di attività non intensi, conta molto di più la testa.

Del resto, è proprio sulla possibilità di innescare un cambio di mentalità che le domeniche a piedi (che sortiscono ben pochi effetti sui livelli di inquinanti) possono riguadagnare terreno. Più che a ripulire l'aria, le giornate senza traffico servono infatti a far capire che l'automobile si può anche lasciare a casa, e che spesso le alternative sono anche più divertenti. Già, perché quello della piacevolezza del viaggio è un altro punto a favore delle limitazioni alla circolazione dei veicoli privati. Il traffico rende nervosi e crea esclusione sociale, perché nell'abitacolo si sta quasi sempre da soli. Tanto che, fra i pendolari, i disturbi del sonno e lo stress sono più comuni.



Le buone azioni per un'aria migliore

I benefici per l'ambiente, infine, vanno oltre la riduzione nell'emissione di sostanze tossiche per l'uomo. Infatti, meno automobili in circolazione fanno bene al pianeta. Per percorrere 45 chilometri, un'auto a benzina di media cilindrata consuma una quantità di energia sufficiente a illuminare un appartamento per una famiglia per tre settimane.

Non in linea con le attese sono invece i miglioramenti che le limitazioni al traffico portano all'inquinamento acustico. A Londra il beneficio della *congestion charge* è stato impercettibile, nel senso reale del termine, forse perché i mezzi più pesanti (ovvero, quelli del trasporto pubblico) sono anche i più rumorosi. Più in generale, si stima che per ottenere un calo sensibile del rumore il traffico dovrebbe ridursi di almeno il 40%. ■



E ADESSO TOCCA A TE!

Nei box dei capitoli precedenti abbiamo dato suggerimenti sui comportamenti individuali, volti sia a inquinare meno, sia a proteggere la salute. Chi volesse impegnarsi in prima persona, o tenersi aggiornato e informato sulle novità scientifiche e sulle soluzioni che potrebbero migliorare la situazione nel luogo in cui vive, può scegliere di aderire a organizzazioni già esistenti e consolidate da tempo.

Le associazioni che si occupano di inquinamento ambientale sono numerose, e le loro iniziative, in Italia e all'estero, hanno

Aria da morire

spesso saputo creare una maggiore consapevolezza nei cittadini, hanno aggiunto informazioni preziose a quelle già raccolte dalle istituzioni preposte e dalla ricerca scientifica, e sono riuscite in qualche caso a influenzare le politiche sulla qualità dell'aria. Lamentarsi e stare a guardare non serve a nulla. Per chi ha voglia di impegnarsi, ecco alcune delle associazioni più attive sull'inquinamento dell'aria.

LEGAMBIENTE <http://www.legambiente.it/>

Promuove iniziative di vario tipo, dalle petizioni alle manifestazioni di piazza. Compila rapporti periodici molto dettagliati sulla qualità dell'aria e della vita nelle città.

GENITORI ANTISMOG <http://www.genitoriantismog.it/>

Associazione fondata a Milano nel 2001, si è poi estesa in molte altre città. Molto attenta agli aspetti legati alla salute, organizza campagne per spronare le amministrazioni ad agire, con progetti che coinvolgono spesso anche le scuole.

ITALIA NOSTRA <http://www.italianostra.org/>

Nata negli anni Cinquanta, questa associazione ambientalista ha avviato una campagna specifica sull'inquinamento atmosferico. La sua «Carta di Mantova», approvata nel 2008, contiene una serie di proposte per affrontare il problema, rivolte alle amministrazioni.

WWF <http://wwf.it/>

Storica associazione attiva in tutto il mondo, si occupa anche di inquinamento con un'attenzione maggiore a quello di tipo industriale.

GREENPEACE <http://www.greenpeace.org/italy/it/>

Il tema dell'inquinamento è centrale in molte campagne di questa associazione internazionale, nota anche per iniziative e azioni dimostrative originali e di grande impatto.

Le buone azioni per un'aria migliore

FEDERAZIONE ITALIANA AMICI DELLA BICICLETTA (FIAB)

<http://fiab-onlus.it/bici/>

Federazione che riunisce oltre 130 associazioni che hanno lo scopo di promuovere l'uso della bicicletta come mezzo di trasporto quotidiano. Le attività sono volte a sensibilizzare l'opinione pubblica e a spronare le istituzioni a creare percorsi ciclabili sicuri ed efficienti. ■

PARTE SECONDA

L'inquinamento di case, uffici e scuole



5. NEMMENO AL CHIUSO SI È AL SICURO

Case, automobili, uffici e aule scolastiche. Ma anche negozi e centri commerciali, palestre, ristoranti, cinema, pub e discoteche. E ancora: sale d'aspetto, autobus e metropolitane, studi medici, ospedali e biblioteche. In questi luoghi, la maggior parte di noi trascorre ogni giorno il 90% del suo tempo, anno dopo anno, dall'infanzia alla vecchiaia. Sono tutti spazi chiusi, o ambienti indoor, nella definizione più esatta. E spesso non sono affatto salubri: le ricerche sull'argomento mostrano infatti che qui, in media, l'inquinamento è maggiore che all'aperto. Un po' perché negli edifici si accumulano le sostanze che ammorbano l'aria cittadina e che, con le finestre spesso chiuse, non trovano modo di uscire. Un po' perché a quegli inquinanti si aggiunge un variegato esercito di molecole nocive, che si sprigiona da mobili, pitture e materiali da costruzione, ma anche dai prodotti per la pulizia della casa, dai solventi, da candele profumate e incensi, dai fornelli accesi con la pentola che cuoce, o dalle sigarette, se c'è qualcuno che fuma.

Spesso, chi vive in un ambiente inquinato neppure se ne rende conto, perché al fumo passivo si fa l'abitudine, e perché quando i pavimenti sono tirati a lucido e tutto brilla non si pensa che una tosse o un mal di gola possano essere provocati proprio dall'aria che si respira in casa. A ingannare è anche quel buon profumo di nuovo e di pulito, che ogni casalinga ricerca, e che tuttavia non è altro che l'odore dei COV, i Composti Organici Volatili, la classe di sostanze che più caratterizza l'inquinamento indoor.

Aria da morire

I COV sono numerosi e alcuni, come il benzene e la formaldeide, sono cancerogeni. Hanno in comune il fatto di essere composti da carbonio e idrogeno, il basso peso molecolare – si va dal metano (CH_4) al naftalene (C_{10}H_8) – la capacità di diffondersi nell'aria e la facilità con cui sono assorbiti da bronchi e polmoni, per entrare rapidamente nel sangue e iniziare a far danni. Nel breve periodo, l'inalazione può provocare infiammazioni delle vie respiratorie e degli occhi, mal di testa e nausea, ma un'esposizione che si protrae per anni può determinare anche – si è detto – un aumento di rischio per tumori.

La categoria dei COV, peraltro, non comprende affatto tutte le sostanze che rendono insalubri gli ambienti chiusi. Alla lista, già lunga, vanno infatti aggiunti il monossido di carbonio (il micidiale gas inodore che fuoriesce spesso da stufe o caldaie mal funzionanti); il biossido di azoto (che si sprigiona dai tubi di scappamento delle automobili e penetra fin dentro le abitazioni); gli idrocarburi policiclici aromatici (presenti nel fumo da tabacco o in quello da combustione di legna e carbone, ma anche nei cibi bruciacchiati); i contaminanti di origine biologica (come muffe, funghi e acari); i composti clorurati (come la trielina, presente in alcuni mordenti per il legno, sverniciatori chimici o comunque molti prodotti da bricolage, e il tetrachloroetilene, presente in alcuni smacchiatori o detergenti per il legno, e in alte concentrazioni anche nelle lavanderie dove è usato per il lavaggio a secco). Anche il radon e l'amianto sono a tutti gli effetti inquinanti indoor, ma per la peculiarità delle sorgenti da cui si sprigionano, per la loro storia e per l'impatto che hanno sulla salute pubblica sono trattati in due capitoli separati di questo libro.

I danni che un ambiente insalubre provoca all'organismo sono dovuti a questo mix di sostanze più o meno nocive prese nel loro insieme, e sono strettamente legati anche al tempo che si trascorre al suo interno, al ricambio dell'aria e ad altri fattori.

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

Tutte queste variabili fanno sì che valutare i reali effetti sulla salute dell'inquinamento indoor sia un'operazione piuttosto complicata.

A tracciare un quadro complessivo è stato, nella prima metà degli anni 2000, il progetto THADE (Towards Healthy Air in Dwellings in Europe), condotto dalla European Federation of Allergy and Airways Diseases Patients Associations (EFA) e finanziato dalla Commissione europea. Dall'analisi degli studi pubblicati è stato possibile identificare quattro tipi di malattie legate all'inquinamento indoor:

- quelle causate da una singola sostanza, come l'avvelenamento da monossido di carbonio;
- le malattie allergiche e l'asma, determinate o aggravate dalla presenza di allergeni di vario tipo;
- i disturbi individuali determinati da allergie poco diffuse, oppure da un'aumentata sensibilità verso certi composti;
- e la «sindrome da edificio malato», espressione che indica la presenza di malesseri nella maggior parte degli occupanti di un edificio, senza che questi possano essere ricondotti a una causa specifica.

Quest'ultima condizione, sfuggente nella definizione ed estremamente difficile da identificare nella realtà, è stata precisata meglio nel 2008, dal rapporto finale del progetto europeo EnVIE, che così la descrive: «L'espressione sindrome da edificio malato è usata per descrivere casi in cui gli occupanti di un edificio sperimentano un disagio che sembra legato al tempo trascorso al suo interno, ma per i quali non può essere identificata una singola causa. A questa condizione sono associati diversi sintomi, fra cui: disturbi respiratori, irritazione e affaticamento. La percezione di odori sgradevoli o di irritazione delle mucose porta ad avere l'impressione di una cattiva qualità dell'aria, che è conseguenza di comportamenti tipici, quali l'apertura frequente delle finestre». Secondo gli esperti, i disturbi compromettono fortemente la produttività di chi lavora negli ambienti «malati».

Aria da morire

E sebbene a determinare i malesseri possano contribuire il rumore, le vibrazioni, il sovraffollamento o una luce insufficiente, ancora una volta sono i composti organici volatili – spesso in combinazione fra loro – i primi responsabili di questa particolare sindrome collettiva. La gestione di queste situazioni è molto difficile, anche perché nella maggior parte dei casi individuare gli inquinanti che sono alla base dei disturbi è un compito davvero arduo. Una volta posto rimedio a fattori di tipo fisico (luce, rumore o altro), per le sostanze chimiche non resta che seguire il principio ALARA (acronimo dall’inglese As Low As Reasonably Achievable) in base al quale devono essere tentati tutti i mezzi che permettano di tenere la concentrazione degli inquinanti entro livelli ragionevolmente bassi.

Case, uffici e scuole in Europa: conoscere per prevenire

Più volte l’Organizzazione Mondiale della Sanità ha richiamato l’attenzione sulla qualità dell’aria negli ambienti confinati, e nel 2000 il diritto a respirare aria pulita in casa è stato incluso nella lista di quelli ritenuti fondamentali. Dal canto suo, l’Unione Europea ha finanziato diversi programmi di ricerca sul tema, che vedono anche una importante partecipazione di esperti italiani (soprattutto delle Università di Milano e di Siena).

Il progetto INDEX, in particolare, ha stilato un elenco delle sostanze sulle quali un intervento sarebbe più che mai necessario. Il rapporto finale, uscito nel 2005 e curato dal Joint Research Centre della Unione Europea (con sede a Ispra, Varese), indica come prioritarie la formaldeide, il monossido di carbonio, il biossido di azoto, il benzene e il naftalene. Si tratta di composti che possono raggiungere concentrazioni elevate nei luoghi chiusi, e il cui impatto sulla salute è importante ed è stato dimostrato da numerosi studi. Altri studi, hanno poi individuato negli anziani,

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

nei bambini, e in chi soffre di malattie croniche dell'apparato respiratorio o cardiovascolare, le categorie di persone più a rischio (per un cardiopatico, per esempio, può risultare tossica una concentrazione di monossido di carbonio che è invece tollerata da una persona sana).

Tuttavia, sebbene sia ormai chiaro che l'esposizione della popolazione all'azione degli agenti inquinanti avvenga perlopiù nei luoghi chiusi, il monitoraggio e la legislazione su questo tema sono ancora piuttosto indietro. Nelle sue *Linee guida sulla qualità dell'aria indoor*, l'OMS attribuisce il ritardo conoscitivo *in primis* al fatto che le politiche si sono focalizzate soprattutto sull'inquinamento esterno, più facile da misurare e caratterizzare. Le tecniche di rilevamento per l'indoor sono infatti disomogenee e le ricerche che hanno tentato di fornire un quadro generale della situazione sono riuscite solo in parte nell'intento. A complicare l'intera materia, poi, c'è il fatto che la presenza di sostanze inquinanti negli ambienti chiusi varia moltissimo anche fra edifici vicini e, nello stesso palazzo, da un appartamento all'altro e persino fra stanze diverse della medesima abitazione: molto infatti dipende dalle abitudini di chi occupa l'ambiente, oltre che dai mobili presenti, dalle pitture usate nella rifinitura dei muri e dalle caratteristiche della costruzione. Per esempio, una casa che ha un garage comunicante con il resto dell'abitazione è molto più inquinata di una che non ce l'ha, se non sono presenti accorgimenti tecnici che impediscono il passaggio verso le altre stanze di gas tossici quali il benzene e il monossido di carbonio.

Questa ampia variabilità è stata fotografata, alla fine degli anni Novanta, dallo studio europeo EXPOLIS, che ha valutato l'esposizione individuale ai principali inquinanti indoor di oltre 1200 volontari, in sette città (Atene, Basilea, Grenoble, Helsinki, Praga, Milano e Oxford). Monitoraggi diretti sono stati eseguiti negli ambienti di lavoro e nelle case di circa 400 volontari, che erano dotati anche di dosimetri personali, e a questi si sono

Aria da morire

affiancate le risposte ai questionari, proposti anche alla restante parte del campione. I risultati mostrano l'esistenza di situazioni molto diversificate anche all'interno delle singole aree urbane. I due inquinanti più significativi sono comunque risultati la formaldeide e il benzene, mentre il fatto di fumare in casa è certamente il singolo fattore che più influenza la qualità dell'aria indoor.

Un aspetto critico e un po' sottovalutato riguarda poi gli edifici di nuova costruzione, dove verrebbe naturale pensare che l'inquinamento sia più contenuto. Non è così, un po' perché pitture, stucchi, colle e altri materiali edili emettono la maggior parte delle sostanze tossiche che possono sprigionare nella prima fase della loro vita, e un po' perché i metodi costruttivi che favoriscono il risparmio energetico, sempre più diffusi e incentivati, hanno come rovescio della medaglia quello di limitare il ricambio dell'aria. Riscaldare o rinfrescare un edificio ben isolato costa senz'altro molto meno, ed è anche meno impattante sull'ambiente, se si considerano le emissioni di gas serra. Ma assieme al calore, all'interno restano intrappolati anche gli inquinanti. Trovare un equilibrio fra la necessità di perseguire gli obiettivi del risparmio energetico e la qualità dell'aria indoor non è facile. E per capire l'entità del problema, l'Unione europea, che sull'inquinamento indoor sta agendo davvero a tutto campo, ha finanziato lo studio OFFICAIR che vede la partecipazione di 15 centri di ricerca in 11 Paesi, con l'obiettivo di monitorare gli ambienti lavorativi negli edifici di nuova costruzione e che, nel momento in cui si scrive, è in fase di ultimazione.

Per le scuole, invece, un importante progetto di monitoraggio, che ha anche l'obiettivo di definire le linee guida per una migliore qualità dell'aria, è in corso in 25 Paesi europei. Oltre alle concentrazioni dei principali inquinanti, lo studio SINPHONIE sta valutando anche parametri quali la ventilazione delle aule, e, con esami spirometrici e questionari, la prevalenza di eventuali malattie respiratorie fra gli alunni. L'attenzione è rivolta in

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

particolare all'asma bronchiale e alle allergie, che sono in forte aumento forse proprio (o anche) a causa dell'inquinamento indoor e della presenza di allergeni fra le mura domestiche e nelle aule scolastiche.

In attesa dei risultati, qualche indicazione arriva comunque dal progetto HESE (Health Effects of School Environment), anch'esso promosso e finanziato dalla Commissione europea, che si è concluso nel 2010 ed è stato coordinato dall'Università di Siena. HESE ha valutato 21 strutture di sei città europee (Siena e Udine per l'Italia, Oslo in Norvegia, Uppsala in Svezia, Aarhus in Danimarca e Reims in Francia), misurando in 46 classi la concentrazione di PM_{10} , anidride carbonica (CO_2), polveri ultrafini, ozono, biossido di azoto, formaldeide, allergeni della polvere e dell'aria, muffe e batteri. I livelli sono stati giudicati accettabili per circa la metà degli inquinanti rilevati. Le criticità però ci sono, e riguardano il PM_{10} , l'anidride carbonica – indice dello scarso ricambio di aria – e, in qualche caso, i contaminanti biologici come muffe, batteri e allergeni. Nella maggioranza delle aule monitorate, i livelli di PM_{10} sono risultati superiori ai 50 $\mu g/m^3$ suggeriti dall'Environmental Protection Agency statunitense, mentre riguardo l'anidride carbonica, solo il 33% delle strutture rispettava la soglia di 1000 ppm (parti per milione) raccomandata dall'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Per questi due inquinanti, a fare peggio sono state la Danimarca e l'Italia: da noi, le concentrazioni di PM_{10} e CO_2 sono oltre i limiti rispettivamente nel 78 e nel 66% delle aule. Né il Belpaese si posiziona meglio per i contaminanti biologici: anche qui, i valori sono generalmente molto inferiori nel Nord Europa, mentre le concentrazioni maggiori si sono trovate a Reims, a Siena e a Udine. Tutto ciò non è privo di conseguenze. C'è infatti una relazione diretta fra la qualità dell'aria nelle scuole e le malattie respiratorie degli allievi che le frequentano: circa due bambini su tre, fra quelli esposti a livelli elevati di inquinanti,

Aria da morire

riportano con maggiore frequenza sibili (che sono avvertiti dal medico attraverso lo stetoscopio), tosse secca notturna e allergie respiratorie.

Non è certamente un caso se le scuole di Svezia e Norvegia hanno fatto registrare performance nettamente migliori delle altre. Nei due Paesi scandinavi, infatti, non solo l'inquinamento dell'aria esterna è controllato meglio, ma gli edifici scolastici dispongono anche di sistemi di ventilazione meccanica che facilitano il ricambio dell'aria, che altrove è invece assicurato soltanto dall'apertura delle finestre. Secondo gli standard internazionali, il ricambio dovrebbe essere di almeno otto litri di aria al secondo per persona, ma nello studio HESE il 70% delle aule non raggiungeva questo valore, con punte del 100% per le classi francesi, del 94% per le italiane e dell'86% per quelle danesi. Per risolvere il problema basta quindi installare i sistemi di ventilazione meccanici? In realtà, la soluzione è meno semplice di così. Questi dispositivi infatti funzionano bene se la scuola è in un quartiere poco inquinato, ma rischiano di fare peggio se si trova, per esempio, vicino a strade molto trafficate. Qui, infatti, il ricambio dell'aria porterebbe all'interno gli inquinanti. In questi casi l'intervento più utile sarebbe quindi quello di deviare il traffico, allontanandolo dalla scuola.

Una migliore ventilazione degli edifici è anche uno dei provvedimenti suggeriti dagli esperti che hanno partecipato allo studio THADE, già citato a inizio capitolo, che sottolineano tuttavia che per questa – come per altre azioni che potrebbero ridurre l'esposizione dei cittadini europei all'inquinamento indoor – i riferimenti normativi sono carenti. Secondo il rapporto conclusivo, l'attenzione dei legislatori dovrebbe in particolar modo concentrarsi su interventi finalizzati alla riduzione delle sorgenti di inquinamento: la riduzione del fumo di tabacco nei luoghi chiusi, l'elaborazione di linee guida per chi progetta e costruisce edifici nuovi, un miglior controllo sulla manutenzione degli impianti

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

di raffreddamento e riscaldamento, lo studio di provvedimenti e interventi tecnici che riducano le emissioni di inquinanti dai materiali in uso, dai prodotti di consumo e dai sistemi di cottura a gas, e la programmazione di campagne di informazione rivolte alla popolazione, perché l'esposizione può essere fortemente ridotta incoraggiando l'adozione di comportamenti sicuri.

Un'ulteriore raccomandazione emersa dal progetto è poi diventata il fulcro di un altro studio europeo, chiamato EPHECT (Emissions, Exposure Patterns and Health Effects). L'obiettivo è determinare le emissioni inquinanti di 15 tipi di prodotti di largo consumo (quelli che nei supermercati si trovano nella corsia dei prodotti per la casa e per la cura della persona) e mettere a punto un sistema di etichettatura per indicarle.

Dai risultati di questi e di altri progetti europei in corso, si vorrebbero trarre, nel medio periodo, delle linee guida che stimolino i Paesi membri ad adottare norme specifiche sull'inquinamento indoor. Dal punto di vista legislativo, tuttavia, la materia è parecchio complessa, perché le sorgenti delle emissioni – s'è detto – sono molto diverse, ma anche perché, se qualcosa può essere fatto per i luoghi pubblici, imporre limiti da rispettare negli spazi privati è davvero arduo, se non altro per la difficoltà nel monitorare che siano rispettati. Peraltro, alcune leggi che riguardano sostanze specifiche sono state varate, anche in Italia. L'accordo Stato-Regioni del 2001 ha per la prima volta dato un inquadramento generale alla materia, ponendosi fra gli obiettivi quello di proteggere i gruppi più vulnerabili, promuovere stili di vita sicuri, migliorare le caratteristiche costruttive degli edifici e incidere sulla qualità dei prodotti di consumo. E possono essere considerate a tutti gli effetti leggi contro l'inquinamento indoor anche quelle che, a partire dal 2005, hanno imposto nuovi standard di sicurezza per gli impianti a gas e per i sistemi di aspirazione dei fumi nelle cucine (il «foro», che oggi è obbligatorio), così come la legge Sirchia, che ha vietato il fumo nei luoghi pubblici,

Aria da morire

o il decreto del Ministero della Salute del 2008, che ha imposto limiti all'emissione di formaldeide per i pannelli in truciolato (molti mobili, specie di importazione, ne contenevano in concentrazioni allarmanti). Per gli ambienti lavorativi, il Decreto legislativo 81 del 2008 fissa le norme per la protezione dagli agenti chimici potenzialmente nocivi, nei quali rientrano senz'altro gli inquinanti indoor. Infine, alla fine del 2010, un secondo accordo Stato-Regioni ha riconosciuto la rilevanza della qualità dell'aria indoor per la salute degli studenti e ha tracciato le linee guida per limitare l'inquinamento nelle scuole, al momento purtroppo non tradotte in nessun provvedimento specifico.

Andiamo a conoscere adesso, uno per uno, gli inquinanti che più caratterizzano l'inquinamento indoor, o perché prodotti perlopiù da sorgenti che si trovano negli ambienti confinati o perché, pur derivando dall'aria esterna, si accumulano e si concentrano nei luoghi chiusi, dove raggiungono concentrazioni solitamente maggiori che fuori. In base a queste caratteristiche, si è deciso di inserire nel gruppo il benzene, sebbene abbia la principale sorgente nell'inquinamento cittadino, e di non includere invece il biossido di azoto, che è un importante inquinante indoor ma deriva perlopiù dall'esterno dove è solitamente presente a concentrazioni maggiori, o paragonabili.

Formaldeide: onnipresente, dal truciolato alle candele profumate

Gas dall'odore pungente, solubile in acqua, alcol ed etere. È la formaldeide, il più tipico degli inquinanti indoor, nella definizione dei testi di chimica. Irritante per gli occhi e le vie aeree, la formaldeide è salita agli onori della cronaca nel 2004, quando l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) di Lione l'ha inclusa fra i cancerogeni del gruppo 1, quelli per i quali la

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

relazione fra esposizione e tumori è dimostrata sia sugli animali che sull'uomo. Individuata inizialmente come fattore di rischio per i tumori del naso e della faringe, questa sostanza è stata in seguito collegata anche alla leucemia mieloide.

A basse concentrazioni, la formaldeide è piuttosto comune. All'aperto, si genera negli incendi, dagli impianti per la produzione di energia elettrica, dagli inceneritori o dai processi naturali di decomposizione. Ma la sua presenza negli ambienti confinati è dovuta quasi esclusivamente alle sorgenti indoor, che sono così numerose da far sì che le probabilità di respirare questa sostanza siano tutt'altro che remote. Usata nella fabbricazione di materiali molto comuni, la formaldeide rimane infatti, come residuo, negli oggetti che acquistiamo. Si emana da molti mobili di truciolato, dai tappeti e dalle tende, dalle colle, dalle pitture, dalle carte da parati e da certi materiali isolanti. È presente nei detergenti per la pulizia della casa e in quelli per lucidare le scarpe, in alcuni prodotti per la cura della persona, come i solventi per gli smalti e gli indurenti per le unghie, negli insetticidi, ed è emessa persino da alcune apparecchiature elettroniche, come computer e fotocopiatrici. Per individuare le azioni più utili a limitare l'inquinamento, sono stati condotti studi per capire quali materiali contribuiscono maggiormente a innalzare i livelli di formaldeide negli ambienti domestici. Una ricerca inglese, condotta su 876 abitazioni, ha messo sotto accusa i pavimenti in legno truciolato; altre indagini hanno invece notato che, nella maggior parte dei casi, i materiali per l'edilizia e i pannelli dei mobili sprigionano il gas nocivo per circa un anno, periodo dopo il quale le emissioni calano sensibilmente. Nelle case dei fumatori, tuttavia, sono senza dubbio le sigarette la fonte più importante di contaminazione. Qui, come pure negli ambienti in cui si brucia abitualmente incenso o si accendono candele profumate, le concentrazioni di questo inquinante possono raggiungere livelli raggardevoli. Nonostante la varietà e la numerosità delle sorgenti, comunque, la formaldeide è

Aria da morire

di solito presente in concentrazioni piuttosto basse nelle abitazioni. I monitoraggi condotti nei Paesi occidentali mostrano medie di qualche decina di microgrammi al metro cubo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), al di sotto, quindi, della soglia di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ raccomandata dall'OMS ai fini di scongiurare i rischi per la salute. La situazione è però più delicata per chi con quel gas cancerogeno lavora: nel 2004, secondo la IARC, le persone a rischio erano circa un milione in tutta Europa, perlopiù lavoratori dei mobilifici, o dipendenti di aziende che producono materiali edili o tessuti. Nel corso degli anni, comunque, l'impiego di formaldeide nell'industria si è ridotto, tanto che la sua produzione è dimezzata nel corso degli anni Novanta.

Benzene: occhio a sigarette e bastoncini d'incenso

È uno dei principali inquinanti del traffico cittadino, ed è anche uno dei più pericolosi. Eppure, complice la cattiva ventilazione degli edifici e la presenza di sorgenti specifiche, la sua concentrazione negli ambienti chiusi supera in media di quasi due volte quella che si registra all'aperto. Per questo, il benzene è un sorvegliato speciale dell'inquinamento indoor e rientra fra le sostanze per le quali gli interventi normativi sono più urgenti.

I rischi dell'esposizione prolungata ai fumi del benzene sono noti da almeno 30 anni, da quando cioè un eccesso di casi di leucemia iniziò a farsi notare fra i lavoratori che avevano a che fare quotidianamente con questa sostanza. In particolare, sotto i riflettori degli epidemiologi finirono quasi duemila operai di tre fabbriche della Goodyear, situate nell'Ohio, addetti alla lavorazione del Pliofilm, nome commerciale di una plastica derivata dalla gomma. Sulla scorta di quegli studi, nel 1987 la IARC incluse il benzene fra i cancerogeni del primo gruppo, e numerosi studi in seguito hanno confermato il dato, aggiungendo il tassello – tutt'al-

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

tro che irrilevante – dell’assenza di una concentrazione minima al di sotto della quale l’esposizione può dirsi sicura. Per questo motivo, l’OMS non indica nessun valore soglia per il benzene: nelle sue linee guida, anzi, invita ad adottare tutti i provvedimenti utili ad abbassarne quanto possibile la concentrazione nei luoghi chiusi. In realtà, la stessa organizzazione riconosce che i livelli rilevati di solito nelle case – attorno ai 10-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – sono molto bassi, e il conseguente incremento del rischio è quindi davvero limitato. La situazione è però diversa se c’è qualcuno che fuma. Per il benzene, come per molti altri inquinanti degli ambienti chiusi, il fumo di sigaretta rappresenta infatti sorgente più rilevante, tanto che, nei monitoraggi, le case dei fumatori risultano in media due volte e mezza più inquinate di quelle «smoke free».

Fra le altre fonti, gli esperti mettono al primo posto i bastoncini di incenso – che fanno ancora peggio delle sigarette, ma sono molto meno diffusi. Mentre piccole quantità di benzene possono emanarsi anche dai materiali edili (pitture, principalmente), da prodotti per la pulizia della casa e per il bricolage, da stufe a gas e cherosene. Anche le stampanti e le fotocopiatrici possono sprigionare il gas, motivo per cui negli uffici si registrano generalmente livelli un po’ superiori rispetto a quelli presenti nelle abitazioni. Un luogo potenzialmente molto inquinato è infine l’automobile: nel 2000, uno studio condotto dall’Università di Milano ha trovato negli abitacoli concentrazioni di benzene anche superiori ai 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In questo caso, la sostanza deriva direttamente dall’esterno, giacché è una di quelle presenti nei gas di scarico dei motori a benzina e tende a concentrarsi negli ambienti chiusi.

Monossido di carbonio: il gas micidiale di caldaie e stufe

Non ha nessun odore, è invisibile, non irrita gli occhi né la bocca. Per questo, il monossido di carbonio (CO), un gas generato dalla

Aria da morire

combustione incompleta di combustibili a base organica – come il carbone, il metano o il legno – è il più insidioso degli inquinanti indoor. A concentrazioni elevate (800-1.100 mg/m³ per cinque ore) può essere letale: nell'Europa occidentale l'intossicazione acuta causa almeno un centinaio di morti all'anno, e diverse centinaia di persone vanno incontro a danni neurologici permanenti per averlo respirato in grandi quantità. Ma un'esposizione di qualche ora, anche a concentrazioni molto più basse (a partire da 10 mg/m³ per otto ore) può nuocere al cuore, ai vasi sanguigni e al sistema nervoso; provoca spossatezza, difficoltà respiratorie e danneggia l'udito. Se respirato da una donna incinta, il monossido di carbonio arriva certamente al feto, e alcuni studi, che tuttavia attendono conferme, lo hanno collegato a malformazioni nel neonato e a un peso alla nascita troppo basso.

Le intossicazioni acute sono provocate quasi sempre da elettrodomestici mal funzionanti o installati male (scaldabagni a gas, stufe a cherosene o a legna ecc...). Ma se si escludono questi incidenti, gli studi condotti in Europa mostrano che raramente nelle case si superano i livelli raccomandati dall'Organizzazione mondiale della sanità al fine di proteggere bambini e cardiopatici, i soggetti più sensibili all'azione di questo gas. Eppure, le sorgenti di inquinamento indoor sono numerose e, specie se sommate, possono determinare concentrazioni abbastanza elevate da causare danni sul lungo periodo (il livello di sicurezza per l'OMS è 7 mg/m³, calcolato sulle 24 ore). Negli edifici che si trovano in zone particolarmente trafficate, un contributo rilevante all'inquinamento indoor è dato dall'aria che penetra dall'esterno. Tuttavia, fra le mura domestiche, il fumo di sigaretta e i gas provenienti dai garage comunicanti costituiscono le due principali sorgenti. A queste vanno poi aggiunti i bastoncini di incenso: nel 2002, uno studio statunitense ha trovato che in alcune abitazioni il solo fatto di bruciare incenso faceva salire i livelli dell'inquinante oltre i valori raccomandati dall'OMS.

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

La tossicità del monossido di carbonio deriva dalla sua somiglianza con l'ossigeno. Entrambi giungono nel sangue attraverso i polmoni, penetrano nei globuli rossi, e si legano all'emoglobina, la molecola deputata a ossigenare i tessuti. Tuttavia, il legame fra emoglobina e monossido di carbonio è 245 volte più forte di quello dell'ossigeno. E mentre quest'ultimo si stacca, una volta giunto a destinazione, non c'è nulla che possa sciogliere l'abbraccio letale del gas tossico. Se l'esposizione al monossido di carbonio prosegue, con il passare delle ore una quota sempre minore di emoglobina resta disponibile per legarsi con l'ossigeno. All'organismo viene così a mancare un elemento essenziale e vitale, con le conseguenze indicate nella tabella seguente.

Tabella 1: *L'escalation dei sintomi derivanti da intossicazione di CO*
Fonte: *Environmental burden of disease associated with inadequate housing* (WHO-Europe, 2011)

Percentuale di emoglobina legata a CO	Effetti
0,49-0,81	Nessuno
1,46-8	Aritmie cardiache, ischemia nei soggetti con malattia coronarica
11-14	Difficoltà a svolgere compiti complessi, mal di testa, ischemia nelle persone più suscettibili
15-25	Forte mal di testa, nausea, vomito, svenimenti
33-45	Stato confusionale
54-62	Tremori, perdita di coscienza, coma, morte

Aria da morire

Le intossicazioni acute da monossido di carbonio sono rare ma insidiose, anche perché, come mostrato nella tabella, i sintomi iniziali sono poco indicativi. Si tratta però di incidenti facilmente prevenibili. L'OMS raccomanda di:

- far eseguire annualmente a tecnici qualificati la manutenzione degli impianti a gas e dei riscaldamenti;
- installare rilevatori di monossido di carbonio alimentati a batterie, avendo cura di sostituirle quando è necessario;
- considerare la possibilità di un avvelenamento da monossido di carbonio, se si presentano sintomi come mal di testa, nausea e tremori (specie se interessano più persone);
- se si dispone di un garage comunicante, non tenere l'auto accesa all'interno neanche se la saracinesca è alzata.

Naftalene: un killer nascosto fra solventi e insetticidi

In pochi se le ricordano, e ancora meno sono coloro che le usano. Le palline di naftalina (nome commerciale del naftalene) si mettevano una volta negli armadi per uccidere le tarme, ma sono state ormai sostituite quasi in toto da insetticidi meno pericolosi e meno puzzolenti. Eppure, nelle case in cui sono ancora presenti, possono bastare da sole a far salire la concentrazione di naftalene ben oltre i livelli di guardia, anche in assenza di altre fonti. E possono essere la causa del più pericoloso fra gli effetti per la salute dovuti a questa sostanza: l'intossicazione acuta, che genera anemia emolitica, ovvero, la distruzione dei globuli rossi del sangue (i sintomi sono nausea, vomito, urine di colore scuro). Per questo motivo, le organizzazioni internazionali, dall'OMS all'EPA (l'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente), non abbassano la guardia sul naftalene e, come si è visto, il progetto INDEX lo ha incluso fra gli inquinanti indoor per i quali sarebbe urgente un intervento legislativo; in Cina, per esempio,

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

gli antitarme a base di naftalene sono stati vietati, sebbene siano in realtà ancora piuttosto diffusi.

L'intossicazione acuta è piuttosto rara, e la sua incidenza – sulla quale mancano stime precise – è certamente in calo. Quando ancora si verifica, è dovuta il più delle volte all'ingestione delle palline, che i bambini scambiano per caramelle. Diversi report scientifici tuttavia hanno segnalato anche casi di intossicazioni in persone che avevano indossato indumenti rimasti a lungo a contatto con l'antitarme. Infatti, il naftalene può penetrare nell'organismo anche per inalazione e attraverso la pelle, motivo per cui gli abiti andrebbero lasciati all'aria almeno per un giorno prima di essere utilizzati.

Se si escludono le palline, le principali fonti di inquinamento da naftalene in casa sono i solventi, gli insetticidi e gli erbicidi, il fumo di tabacco, le stufe a cherosene non ventilate e alcune gomme. Nelle zone molto trafficate, poi, un contributo può venire anche dall'aria esterna, sebbene la concentrazione indoor sia generalmente superiore rispetto a quella che si registra fuori. I monitoraggi eseguiti in Europa mostrano che nelle case la media è di $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore rispetto a quella raccomandata dall'OMS, pari $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ su base annua. Al di sopra di questa soglia, gli esperimenti sugli animali indicano che esiste un aumento del rischio di sviluppare tumori del naso e della laringe. Tuttavia, la relazione fra un'esposizione di lunga durata a basse concentrazioni e il cancro non è stata dimostrata con chiarezza nell'uomo, motivo per cui la IARC ha inserito il naftalene fra le sostanze del gruppo 2B, che include quelle «forse cancerogene», sulle quali si attendono ulteriori indagini. Studi sui lavoratori hanno invece collegato questo inquinante alla cataratta e a infiammazioni delle vie respiratorie. Le professioni più a rischio sono quelle legate alla produzione stessa di naftalene, e all'industria dei coloranti e delle resine.

Aria da morire

IPA: dai fumi della legna ai cibi bruciacchiati

La classe degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) comprende centinaia di molecole, tutte costituite da un numero variabile di anelli esagonali che, simili alle celle degli alveari, possono unirsi fra loro e formare strutture più o meno complesse. Composte esclusivamente da carbonio e idrogeno, sono molecole piuttosto grandi, e si diffondono nell'aria perlopiù attaccate a particelle sospese, come grani di polvere o altri materiali. La grande varietà delle forme e delle dimensioni fa sì che gli effetti sulla salute di questa classe di sostanze siano alquanto variabili. Alcune sono facilmente eliminate dalle cellule che tappezzano i bronchi, dotate di prolungamenti simili a spazzole, che si muovono in sincrono e di continuo, spingendo verso l'esterno particelle e le sostanze potenzialmente nocive. Altre arrivano invece ai polmoni e penetrano nel circolo sanguigno, riuscendo così a raggiungere molti organi e a penetrare nelle cellule, grazie alla loro affinità con le membrane che le delimitano. Una parte di queste ultime è certamente in grado di promuovere tumori.

Il benzo-a-pirene, formato da cinque anelli esagonali, è la molecola che gli studi internazionali prendono come riferimento per l'intera categoria, perché la sua concentrazione nell'aria è indicativa anche della presenza degli altri IPA, e perché la sua cancerogenicità è stata dimostrata da numerosi studi e osservazioni, sia sugli animali che sull'uomo. Nel 2004, gli esperti dell'Università di Shizuoka, in Giappone, hanno stimato che dal 51 al 64% del potenziale cancerogeno delle miscele di IPA presenti nell'aria che respiriamo sia dovuto proprio al benzo-a-pirene. Il tumore più chiaramente legato all'esposizione a questo inquinante è quello del polmone, ma alcune ricerche – che l'OMS giudica ancora preliminari – hanno trovato relazioni anche con i tumori della vescica e della mammella. Gli esperti ritengono invece sufficienti le prove che dimostrano che gli idrocarburi

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

policiclici aromatici sono in grado di superare la placenta e giungere al feto, determinando ritardi nella crescita e un basso peso alla nascita.

Nei Paesi occidentali, il fumo di tabacco è la fonte di inquinamento più rilevante per queste sostanze: nelle case dei fumatori, fino all'87% degli IPA presenti è dovuto alle sigarette. Dove non si fuma, a far salire i livelli sono invece l'aria che penetra dall'esterno, se si vive in quartieri inquinati, i sistemi di riscaldamento (specie quelli che bruciano legna o carbone) e i fumi provenienti dalla cucina, in particolare se si è abituati ai fritti e ai cibi grigliati. A questo proposito, va precisato che l'inalazione è soltanto una delle vie attraverso cui gli IPA penetrano nell'organismo. Nei non fumatori, anzi, la via di ingresso principale è rappresentata dai cibi: quelli bruciacchiati, innanzitutto, come la carne alla griglia e le caldarroste, che gli esperti consigliano di consumare con moderazione. Ma anche numerosi altri alimenti contengono queste sostanze, sebbene in quantità ridotte e non tali da suscitare allarme: per esempio, sono presenti nei cereali e nelle verdure a foglia larga, coltivate in suoli che ne sono particolarmente ricchi.

I sistemi di riscaldamento che bruciano biomasse e i fuochi accesi in casa per cucinare rappresentano invece la principale fonte di esposizione in molti Paesi asiatici o africani. Qui la concentrazione di IPA raggiunge valori centinaia di volte superiori rispetto a quelli che si registrano da noi, e gli effetti sulla salute sono rilevantissimi. L'OMS stima che ben tre miliardi di persone nel mondo cucinano e si riscaldano bruciando legno, carbone, sterco e sterpaglie, in abitazioni dove per di più il ricambio di aria è spesso molto ridotto. Questa abitudine provoca due milioni di morti premature ogni anno, soprattutto per polmoniti (con la metà dei decessi nei bambini al di sotto dei cinque anni), tumori polmonari e malattie croniche dell'apparato respiratorio.

Aria da morire

Tricloroetilene: dai prodotti per bricolage al rischio del Parkinson

Usato nell'industria come solvente, il tricloroetilene (noto più comunemente come trielina) è un composto volatile dall'odore caratteristico, simile a quello dell'etere ma più forte. Come inquinante, è prodotto perlopiù dagli impianti industriali e occasionalmente può contaminare le acque. L'esposizione della popolazione con questa sostanza avviene però prevalentemente negli ambienti chiusi, dove tende ad accumularsi in concentrazioni maggiori rispetto all'esterno. Se si escludono le esposizioni professionali, dove si raggiungono le decine di milligrammi al metro cubo, i livelli indoor di tricloroetilene sono comunque molto ridotti nei comuni ambienti di vita. Nello studio europeo EXPOLIS, le concentrazioni maggiori sono state trovate ad Atene, a Praga e a Milano, dove la media era di 7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, contro gli 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrati nelle città meno inquinate. Picchi si possono tuttavia verificare quando si usano prodotti che emettono tricloroetilene, quali i mordenti per il legno, alcune pitture, molti sverniciatori chimici e qualche prodotto usato per togliere le macchie sui tessuti, sebbene questo impiego della trielina sia ormai quasi scomparso.

Il tricloroetilene è stato classificato dalla IARC come probabile cancerogeno (gruppo 2A) sulla base di studi condotti sugli animali e sull'uomo, che hanno mostrato un legame fra l'esposizione e lo sviluppo di tumori, in particolare del fegato e del rene. E questo è senz'altro l'effetto che preoccupa di più, dato che non esiste una soglia di concentrazione al di sotto della quale il rischio si azzera. A concentrazioni elevate, riscontrabili solo in alcuni ambiti professionali, il tricloroetilene è invece tossico per il sistema nervoso e può determinare uno stato confusionale. Alla fine del 2011, inoltre, uno studio pubblicato su «Annals of Neurology» ha trovato che esposizioni di tipo professionale (ri-

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

scontrabili peraltro anche fra chi pratica in modo assiduo hobby che richiedono prodotti contenenti la sostanza) fanno aumentare di ben sei volte il rischio di sviluppare il morbo di Parkinson. Lo studio ha coinvolto 99 coppie di gemelli, nelle quali uno dei fratelli aveva la malattia, e l'esposizione passata all'agente sospetto è stata valutata attraverso questionari. Come gli stessi ricercatori ammettono, i risultati potrebbero essere stati influenzati dalla vaghezza dei ricordi e vanno quindi confermati da altri studi. Tuttavia l'indicazione non è di poco conto, se si considera che il morbo di Parkinson è la malattia neurodegenerativa più diffusa dopo quello di Alzheimer. Un incremento del rischio di quella portata farebbe salire in modo rilevante il numero di malati.

Tetracloroetilene: attenzione alle lavanderie e al lavaggio a secco

Molto simile al tricloroetilene, dal punto di vista chimico, il tetracloroetilene (molecola con quattro atomi di cloro, uniti a due atomi di carbonio) è un liquido volatile usato nell'industria come solvente, per lo sgrassaggio dei metalli, e nella produzione di tessuti, pitture e adesivi. Incidenti o fughe accidentali possono contaminare l'ambiente e le acque; ma se si escludono questi episodi, la maggior parte del tetracloroetilene cui è esposta la popolazione deriva dalle fonti indoor, quali sostanze adesive, profumi, alcuni smacchiatori o detergenti per il legno e certi prodotti per pulire le automobili. Una importante sorgente di contaminazione sono poi le lavanderie, dove la sostanza è usata per il lavaggio a secco. All'interno di questi esercizi commerciali, i livelli di inquinamento possono essere anche centinaia di volte superiori rispetto a quelli che si registrano normalmente nelle case, che di solito non superano i $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e non sono tali da destare allarme. Inoltre, le emissioni delle lavanderie possono essere così consistenti da portare ad aumenti della concentrazione

Aria da morire

di tetracloroetilene anche negli altri appartamenti dello stesso edificio. Va comunque precisato che, se si esclude il locale in cui la sostanza è effettivamente utilizzata, negli ambienti vicini i livelli non sono di solito tali da destare preoccupazioni, neppure per esposizioni croniche, che si protraggono per anni. A sperimentare gli effetti nocivi del tetracloroetilene sono quindi perlopiù coloro che lavorano a stretto contatto con la sostanza.

A concentrazioni elevate, il tetracloroetilene irrita gli occhi e le vie aeree. In qualche caso, esposizioni particolarmente massicce (a partire da 349 mg/m³) e di breve durata hanno generato effetti tossici sul sistema nervoso centrale, mentre sul lungo periodo, a concentrazioni anche inferiori, si possono verificare disturbi dell'attenzione, del sonno, del comportamento e della vista (per concentrazioni superiori a 339 mg/m³). Anni di lavoro con questa sostanza possono produrre anche danni ai reni e al fegato. Le linee guida dell'OMS fissano a 0,25 mg/m³, valutato come media annuale, il livello al di sotto del quale l'esposizione è considerata accettabile. La IARC ha incluso il tetracloroetilene fra i cancerogeni del gruppo 2A, al pari del gemello tricloroetilene, accusandolo di far aumentare il rischio di ammalarsi di tumori dell'esofago, della cervice uterina e di linfomi non-Hodgkin. L'EPA statunitense ha dato un'indicazione simile e tuttavia, nelle linee guida sulla qualità dell'aria del 2010, l'OMS osserva che «le prove epidemiologiche sono ambigue, i tumori rilevati negli animali da esperimento non sono significativi per l'uomo, e non ci sono prove che il tetracloroetilene sia tossico per il DNA».

Umidità e muffe: la culla dell'asma

Compare negli angoli, più spesso in cucina o in bagno, come una macchia scura che col tempo si allarga. Se non si corre ai ripari,

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

arriva a staccare la pittura dai muri, o forma bolle sotto la carta da parati. A volte, assume una tinta fra il verdognolo e il marroncino, segno inequivocabile che su quella macchia di umidità, ormai, crescono muffe e batteri. Le loro spore, i frammenti, le sostanze irritanti e allergiche che sprigionano, si diffondono allora nell'aria, e possono provocare infiammazioni e infezioni delle vie respiratorie.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, fenomeni come questi non sono così rari. Non si verificano soltanto nelle case vecchie e cadenti (sebbene una cattiva manutenzione degli edifici apra la porta alle infiltrazioni), ma riguardano, in Europa, circa il 20% delle abitazioni. La valutazione è dell'OMS, ma la stessa organizzazione fa anche notare che gli studi che hanno stimato la frequenza delle contaminazioni nei diversi Paesi hanno fornito risultati molto variabili, perché influenzati dai diversi criteri che i ricercatori hanno usato per definire che cosa è l'«umidità» in casa, e che cosa si intende esattamente per «muffa», dal fatto che i rilevamenti si basano il più delle volte su questionari, dal clima e dalle caratteristiche costruttive degli edifici. In Italia, per esempio, l'ISPRA valuta che il 17,4% delle case abbia problemi di questo tipo, che sono tuttavia più diffusi al Sud rispetto al Nord (con punte del 25% in Calabria), e comunque più presenti nelle piccole città che nei capoluoghi di provincia. Di certo c'è il fatto che il fenomeno è tutt'altro che marginale, tanto da essersi guadagnato un posto di primo piano nei programmi che cercano di contrastare l'inquinamento indoor.

A partire dagli anni Novanta, infatti, diversi studi hanno collegato la presenza di umidità e muffe all'interno degli edifici all'asma, una delle malattie croniche più diffuse dell'infanzia, che colpisce in Italia un bambino su 10. Un rapporto dell'OMS-Europa, uscito nel 2011, ha calcolato che nel vecchio continente il 12% dei casi di asma può essere attribuito alle muffe indoor, e il 15% all'umidità. Un importante studio coordinato dall'Istituto

Aria da morire

di fisiologia clinica del CNR di Pisa, pubblicato nel 2005 sulla rivista «Occupational and Environmental Medicine», e condotto su oltre 33.000 bambini e adolescenti, ha valutato che nel nostro Paese eliminare l'esposizione a questi inquinanti nei primi anni di vita ridurrebbe la tosse cronica del 9%, l'asma del 7% e le rinocongiuntiviti del 6%, fra i bambini di 6-7 anni.

La misura più efficace per contrastare muffe e batteri è impedire che si formino o, almeno intervenire immediatamente appena si rilevano macchie di umidità in casa. Per gli edifici di nuova costruzione, buoni risultati si possono ottenere con una progettazione che preveda materiali meno attaccabili dagli agenti biologici, e più attenta al ricambio di aria e al controllo di eventuali perdite di acqua. Nelle case già esistenti, una buona manutenzione degli impianti idrici, degli infissi e del tetto permette di prevenire le infiltrazioni. Eliminare muffe e batteri una volta che si sono insediati è invece molto più difficile. Se l'umidità è legata a un guasto all'impianto idraulico, il primo intervento è ripararlo. Anche in assenza di macchie evidenti, tuttavia, livelli eccessivi di umidità possono favorire la crescita di microrganismi. Per evitarlo, gli esperti consigliano di: aerare spesso i locali e soprattutto la cucina; non superare il 40-50% di umidità relativa in casa, evitando l'uso degli umidificatori; limitare l'uso di tappeti.

Acari

Le misure utili a combattere umidità e muffe sono efficaci anche contro gli acari della polvere, i più comuni contaminanti biologici degli ambienti indoor, responsabili di un'allergia che può trasformarsi, con gli anni, in asma, ed è presente in circa la metà dei soggetti che presentano qualche forma di raffreddore allergico. Parenti di ragni e zecche, gli acari sono minuscoli

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

insetti che trovano in casa una temperatura adatta per crescere e moltiplicarsi, e cibo in abbondanza: si nutrono infatti delle scaglie della nostra pelle, che inconsapevolmente lasciamo un po' ovunque. Proprio per questo, generalmente, gli ambienti più contaminati sono le camere da letto, sebbene gli acari siano presenti un po' ovunque.

Disfarsene è tutt'altro che semplice. Anche gli interventi più radicali, infatti, non permettono di eliminare del tutto il problema, sebbene possano ridurre in modo significativo l'esposizione e, con essa, gli starnuti. Ecco i consigli più semplici da seguire:

- non superare il 40-50% di umidità e i 20 °C di temperatura in casa.
- spolverare sempre con un panno umido e mai secco.
- scegliere un aspirapolvere con un filtro HEPA, che trattiene il pulviscolo, e passarlo 2-3 volte a settimana, anche su tutte le superfici che non possono essere spolverate (divani, paralumi, tende ecc.).
- limitare per quanto possibile la presenza in casa di tappeti e tende.
- eliminare le librerie dalle camere da letto.
- usare materassi e cuscini imbottiti con materiali sintetici (meglio se in lattice) e rivestirli con fodere antiacari, da cambiare assieme alla biancheria.
- cambiare le lenzuola ogni 3-4 giorni e lavarle almeno a 60 °C.
- limitare i peluche e lavarli almeno ogni 15 giorni.
- gli acaricidi possono essere utili ma vanno usati con prudenza, perché possono essere tossici anche per l'uomo. Inoltre, dopo averli usati bisogna eliminare gli acari morti, che conservano il loro potenziale allergenico.



LE REGOLE DA SEGUIRE PER UN AMBIENTE SANO

Le indicazioni specifiche su come ridurre l'esposizione a singoli inquinanti sono presenti nei paragrafi relativi. Qui sono invece illustrate le azioni che, nel loro complesso, rendono più salubri gli ambienti indoor e contribuiscono nella maggior parte dei casi a ridurre o eliminare l'esposizione a più di un inquinante.

- Non fumare e non permettere ad altri di fumare in casa.
- Introdurre mobili, apparecchiature o utilizzare prodotti di consumo con ridotte emissioni e composti da sostanze il meno pericolose possibili. Non esiste ancora un sistema di etichettatura specifico per gli inquinanti indoor, ma i prodotti che contengono sostanze tossiche o pericolose riportano un marchio quadrato con un teschio o una X di colore nero su sfondo arancione.
- Seguire le indicazioni riportate sulle etichette dei prodotti per la pulizia della casa e non mischiarli.
- Tenere gli animali domestici fuori dalle camere da letto.
- Controllare l'umidità, che non dovrebbe superare il 40-50% ed evitare la comparsa di macchie di muffa.
- Alcune piante da appartamento aiutano a ripulire l'aria dagli inquinanti, e in modo particolare dalla formaldeide. Sono: dracena, aloe, clorofito, crisantemo, gerbera, giglio, peperomia, sansevieria e ficus.
- Assicurarsi che gli impianti del gas e tutti i dispositivi che bruciano gas o altri combustibili siano ben installati, e curarne la manutenzione.

Nemmeno al chiuso si è al sicuro

- Aerare i locali almeno due volte al giorno e aprire sempre la finestra dopo aver cucinato (o mentre si cucina).
- Cambiare i filtri dei condizionatori a ogni inizio stagione e, nel periodo di utilizzo, lavarli con acqua e sapone ogni due settimane.
- Se si sospetta che l'ambiente lavorativo non rispetti le norme del Decreto legislativo 81 del 2008, ne va informato il Responsabile del servizio prevenzione e protezione, che ha il compito di garantire l'osservanza della legge anche attraverso azioni di monitoraggio e bonifica.
- Per le scuole non esiste in Italia una normativa specifica. Le strutture scolastiche sono tuttavia considerate ambienti di lavoro e quindi sottostanno al Decreto legislativo 81 del 2008. Esiste dunque anche nelle scuole un Responsabile del servizio prevenzione e protezione incaricato di far osservare la normativa anche rispetto alla presenza di eventuali inquinanti indoor. ■

6. AMIANTO: L'ILLUSIONE DEL MATERIALE PERFETTO

Forte, leggero, indistruttibile. Resistente all'usura del tempo e agli agenti chimici e biologici. Inattaccabile dal fuoco, fonoassorbente. Facile da lavorare, da ridurre in fibre sottili per tessere abiti, o in polvere bianca e fine, per fare la neve finta a Natale. Miscibile al cemento, al gesso, alla calce e persino alla plastica, per renderla più resistente. Poco costoso, ampiamente disponibile in natura, e neppure complicato da estrarre dalle cave a cielo aperto presenti, numerose, in tutti i continenti.

Per un secolo, l'amianto è sembrato il materiale perfetto. Prodotto in milioni di tonnellate, nel suo periodo d'oro, ha fatto la fortuna di imprenditori e magnati al di qua e al di là dell'oceano. Perché con l'amianto, o asbesto, si è fatto davvero di tutto, prima che le prove scientifiche che lo hanno inchiodato come uno dei maggiori cancerogeni del secolo venissero finalmente accolte dai governi, e che se ne vietasse l'utilizzo in molta parte dell'Occidente e in Giappone. Se si escludono le sigarette, infatti, nessun altro prodotto fra quelli destinati al largo consumo ha fatto tante vittime. L'asbesto ha avvelenato il mondo per quasi cent'anni, ha ucciso dentro e fuori le fabbriche, e ancora continua a farlo. Perché se produrlo era semplice ed economico, eliminarlo costa invece moltissimo ed è un lavoro complesso e delicato. In Italia, a vent'anni dalla sua messa al bando ci sono in giro ancora circa 30 milioni di tonnellate di materiali contenenti amianto, ma le stime sono imprecise, perché i censimenti non sono stati eseguiti ovunque, e perché i piccoli

Aria da morire

pannelli o le onduline tuttora presenti sui tetti di tante case ed ex capannoni industriali sfuggono facilmente al conteggio. Per lo più, si tratta di amianto bianco, il più utilizzato dall'industria. In termini tecnici si chiama crisotilo (dal greco: fibra d'oro), fa parte della serie mineralogica dei serpentini, ed è un minerale piuttosto comune nella crosta terrestre. Le sue fibre hanno la forma di «S» allungate e sottili, proprietà che le rende un po' meno pericolose di quelle degli altri amianti che, più fini e dritte come aghi, trafiggono i tessuti e penetrano in profondità nei polmoni, fino a oltrepassarli e raggiungere – più facilmente del crisotilo – le pleure, le membrane che rivestono gli organi interni, generando la più devastante delle malattie legate all'asbesto: il mesotelioma. Gli altri amianti, s'è detto, fanno tutti parte della serie mineralogica degli anfiboli, e hanno anch'essi nomi affascinanti. C'è l'amianto blu, o crocidolite (dal greco: fiocco di lana), il più pericoloso, estratto in Sud Africa, Australia e Bolivia. E c'è l'amianto bruno, o amosite, scoperto più di recente, che deve il nome alle cave sudafricane da cui si ricava (Asbestos Mines of South Africa). Anche l'Italia ha la sua varietà: è un crisotilo contaminato da piccole quantità di un anfibolo chiamato Balangeroite, da Balangero, la località piemontese in provincia di Torino dove veniva estratto. Infine, ci sono l'antofillite e l'actinolite – termini che derivano da parole greche che significano rispettivamente «garofano» e «pietra raggiata» – sono un po' meno usati, ma comunque presenti soprattutto nei materiali da costruzione. Dal punto di vista chimico, tutti gli amianti sono composti da lunghe catene di ossigeno e silicio, cui si associano altri metalli (soprattutto magnesio, ferro e calcio). Sono questi ultimi a dare a ciascuna varietà le caratteristiche che la rendono peculiare, sebbene il crisotilo sia più soffice degli altri, per via della struttura a serpentina delle sue fibre.

LE MALATTIE DELL'AMIANTO

La pericolosità dell'amianto è generata dalle stesse caratteristiche che ne hanno permesso un impiego vasto e diversificato. Le sue fibre, finissime e indistruttibili, lo rendono infatti duttile e resistente, ma possono essere respirate, e una volta penetrate nell'organismo vi permangono per un tempo indefinito. Sono, insomma, indistruttibili anche all'interno dei tessuti biologici.

La prima manifestazione dell'esposizione massiccia alle polveri di amianto è un'infiammazione cronica delle vie respiratorie, dovuta all'inutile tentativo del sistema immunitario di disfarsi dei micidiali corpuscoli. Dopo qualche tempo, nei polmoni si formano delle placche fibrose, che si estendono col passare degli anni determinando una grave insufficienza respiratoria. È l'*asbestosi*, la prima malattia identificata come conseguenza dell'esposizione all'amianto, che compare dopo oltre 15 anni dall'inizio dell'avvenuta esposizione. Molto più grave nei fumatori, evolve in modo progressivo e non c'è modo di fermarla. L'*asbestosi* è una malattia tipicamente professionale, al contrario dei tumori che possono riguardare anche la popolazione generale.

Le due neoplasie più frequentemente associate all'asbesto sono il *tumore del polmone* e il *mesotelioma*. Quest'ultimo interessa la pleura e il peritoneo, ovvero le membrane che rivestono gli organi interni; non ha ancora una terapia efficace e porta a morte entro 12-18 mesi dalla diagnosi. Non esistono altre cause note per questo tumore, che è invece quasi sempre collegabile a un'esposizione all'agente sospetto, nonostante il fatto che, in media, la malattia si manifesti ben 40 anni dopo. Secondo l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) di Lione, la malattia può derivare anche da esposizioni



Aria da morire

di breve durata a concentrazioni basse di polveri. In linea teorica, basta una sola fibra.

A livello della pleura, le polveri di amianto possono provare anche lesioni non maligne, chiamate *placche pleuriche* (o ispessimenti pleurici). Il più delle volte non danno sintomi, ma possono provocare difficoltà respiratorie se diventano estese. Alcuni studiosi sospettano che gli ispessimenti della pleura siano legati al successivo sviluppo di un tumore in questa sede, ma è un'ipotesi che va confermata.

Contrariamente ad altre forme tumorali, il mesotelioma non è favorito dal fumo di sigaretta, che resta invece la principale causa del tumore al polmone. In questo organo, l'effetto dei due fattori di rischio è sinergico: per esposizioni di tipo professionale, l'amianto fa aumentare di cinque volte il rischio di ammalarsi nei non fumatori, e di 53 volte nei fumatori.

Più volte l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha ribadito che tutti i tipi di asbesto sono cancerogeni (sebbene, a parità di esposizione, crocidolite e amosite siano più pericolosi del crisotilo), ma i meccanismi biologici che scatenano la trasformazione tumorale non sono del tutto noti. È però ormai chiaro che sono coinvolti sia fattori fisici che chimici: per esempio, per via delle loro ridottissime dimensioni, le fibre sono in grado di penetrare nelle cellule e rompere i cromosomi, determinando danni consistenti al patrimonio genetico. Ma mutazioni genetiche sono legate anche allo stress ossidativo, che può generarsi, per esempio, per la presenza di ferro nelle polveri.

Nel 2009 la IARC ha preso nuovamente in esame gli studi sulla cancerogenicità dell'amianto, includendo fra i tumori certamente legati all'esposizione al minerale anche quello della laringe e dell'ovaio. Per i tumori gastrointestinali (incluso quello del colon) le prove non sono state invece ritenute



conclusive, sebbene il sospetto che l'asbesto possa favorirne l'insorgenza sia stato avanzato da numerosi studi.

Nel 2012, infine, uno studio britannico ha rilevato un aumento del rischio di morire per un ictus o un infarto nei lavoratori esposti alle polveri di amianto. Lo studio, pubblicato su «Journal of Occupational and Environmental Medicine», ha seguito per 19 anni quasi 100.000 persone impiegate nel settore. ■

Breve storia dell'amianto e del suo boom

L'amianto è noto fin dall'antichità, ma la sua enorme diffusione è iniziata a partire dall'Ottocento. Il primo a sfruttarlo commercialmente fu il fisico italiano Giovanni Aldini (1762-1834), nipote del più celebre Luigi Galvani, che una quindicina d'anni prima di morire progettò una tuta resistente al fuoco, ideale per i pompieri e venduta ai dipartimenti delle città di mezza Europa, inclusa Parigi. Ad aprire la strada a un più ampio impiego di questo materiale fu però la scoperta che si mescola bene con la gomma: le guarnizioni dei motori a vapore, che proprio in quegli anni iniziavano a diffondersi, erano soggette a usura e si deformavano a causa delle temperature elevate. L'aggiunta di un po' di asbesto le rendeva molto più resistenti. Né Aldini né gli altri piccoli produttori della prima ora divennero ricchi grazie alle loro invenzioni; il primo miliardario dell'amianto fu invece un americano che, giovanissimo, si invaghì del minerale. Nel 1858, a soli 21 anni, Henry Ward Johns fondò a New York la Johns Manufacturing Company, destinata a diventare una delle più importanti aziende del settore, e che sarà coinvolta – a partire dagli anni Venti-Trenta del Novecento – in uno degli scandali

Aria da morire

più significativi della storia dell'amianto, scaturito dalle morti per asbestosi e tumori di molti dei suoi operai. Lo stesso Ward Johns, nel 1898 morì di asbestosi, ma nella seconda metà dell'Ottocento la faccia oscura del minerale che sembrava voler cambiare il mondo non si era ancora manifestata, così sotto la guida del suo entusiasta fondatore, la Johns Manufacturing iniziò a produrre a pieno ritmo materiali amiantati di ogni tipo: dai pannelli catramati ai tessuti, dai rivestimenti per l'edilizia ai materiali isolanti. Nel 1901 l'azienda si fuse con la Manville Covering di Milwaukee (Wisconsin), formando il colosso Johns-Manville. All'Esposizione Universale di New York del 1936, la società si presentò con un padiglione interamente costruito di asbesto: ad accogliere i visitatori all'ingresso c'era una statua alta circa tre metri, che rappresentava un uomo vestito con una tuta ignifuga, tutta fatta di amianto. Già allora, comunque, la company newyorkese non era più la sola attiva nel settore. A partire dagli anni Settanta dell'Ottocento, infatti, l'apertura di alcune importanti cave in Canada aveva reso più facile l'approvvigionamento e diversi imprenditori si erano quindi lanciati su quel promettente mercato. Nel 1901, poi, l'austriaco Ludwig Hatschek aveva inventato e brevettato una miscela di amianto e cemento, destinata principalmente all'edilizia e alla cantieristica navale. L'aveva battezzata Eternit, proseguendo così la tradizione di dare nomi suggestivi a quel minerale che sembrava un dono divino. Eternit, per sottolineare quanto fosse resistente al tempo, al fuoco e all'usura. Un materiale duttile e leggero, poco costoso ed eterno. Hatschek fondò una sua azienda in Austria e vendette il brevetto a diversi imprenditori nei vari Paesi europei. Fra loro, lo svizzero Alois Steinmann, che nel 1903 fondò la Schweizerische Eternitwerke AG, aprì il primo stabilimento a Niederurnen, e l'ingegnere italiano Adolfo Pietro Mazza, che acquistò la licenza nel 1906 e aprì lo stabilimento di Casale Monferrato (Alessandria), cittadina già rinomata nel settore del cemento. Il gruppo svizzero, assieme

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

a quello della famiglia belga degli Emsens, avranno particolare rilievo nelle future vicende italiane. Nel 1920, Ernst Schmidheiny acquistò la Eternit Svizzera, e a partire dal 1952 gli Schmidheiny e gli Emsens divennero azionisti della società di Adolfo Mazza. Alla morte di quest'ultimo nel 1956, saranno loro a tenere le redini della Eternit italiana, che nel frattempo si era espansa con la fondazione di altri stabilimenti, a Bagnoli (Napoli), Cavagnolo (Torino), Rubiera (Reggio Emilia). In particolare, gli Schmidheiny gestirono la società a partire dal 1972, durante il periodo che è stato oggetto del processo Eternit, conclusosi a Torino nel 2012.

Sempre nella prima metà del secolo scorso, anche il vinile era stato fuso con l'asbesto, per creare piastrelle con cui pavimentare scuole, ospedali, caserme e palestre.

La seconda guerra mondiale, con la necessità di rendere più efficienti possibile i mezzi militari e i soldati stessi, vide un nuovo boom della produzione. Gli Stati Uniti erano talmente preoccupati di non riuscire ad avere abbastanza amianto per le navi, gli aerei e le divise dei soldati, che lo razionarono sul mercato interno, proibendone l'uso per gli impieghi che non erano strettamente legati agli scopi bellici. La Germania nazista, sotto embargo, iniziò invece a cercare materiali sostitutivi, avviando così un filone di ricerca che diventerà fondamentale molti anni più tardi, quando il pericoloso materiale sarà proibito, o subirà forti restrizioni nell'impiego. Negli anni che seguirono, e fino almeno alla metà degli anni Ottanta, l'asbesto fu messo davvero dappertutto. Nell'edilizia, preveniva la propagazione di eventuali fiamme, proteggeva gli impianti elettrici e le tubature e permetteva anche di risparmiare sulla bolletta del riscaldamento, grazie alle sue notevoli proprietà isolanti. A New York e in altre grandi città, i grattacieli poterono salire sempre più in alto solo grazie all'Eternit e ai rivestimenti amiantati, che li rendevano più solidi e che proteggevano l'intera struttura dalle deformazioni causate

Aria da morire

dagli incendi, piuttosto comuni in quell'epoca. I tessuti ignifughi divennero usuali non solo fra i professionisti che lavoravano alle alte temperature: contenevano infatti amianto i sipari dei teatri, le presine da cucina, i guanti da forno, le tende, i tappeti, le tovaglie e molti abiti da lavoro. Il matrimonio con la plastica si rivelò altrettanto fruttuoso e l'asbesto finì così in moltissimi oggetti di uso comune, fra cui telefoni, stivali e persino giocattoli. Contenevano amianto gli asciugacapelli, i ferri da stirio, i sacchi dei postini, la carta e il cartone. Il filo usato dai chirurghi per le suture poteva contenere il minerale, e filtri all'asbesto, efficacissimi e indistruttibili, erano usati nella produzione di vini e succhi di frutta. In Giappone, la raffinazione del riso iniziò a includere alcuni passaggi che prevedevano l'impiego di amianto. Il minerale divenne così alla moda che furono messi in commercio anche prodotti nei quali l'utilità di includerlo pare oggi davvero remota, come un dentifricio per denti più bianchi e degli assorbenti interni per signora. Dal 1950 al 1979, la produzione giunse addirittura a quintuplicare. La corsa sembrava inarrestabile, le cave sembravano inesauribili, i creativi dell'asbesto inventavano continuamente oggetti e materiali destinati ad affermarsi rapidamente. Le società che operavano nel settore erano ormai veri e propri colossi, che avevano formato un cartello e si spartivano il mercato, puntando più sulla collaborazione che sulla concorrenza. A dominare su tutti erano la Saic AG (una holding che comprendeva numerose società europee ma era dominata da quelle svizzera e belga), la britannica Turner & Newall e la statunitense Johns-Manville.

Eppure, da molto tempo alcuni ricercatori avevano lanciato l'allerta. Nel 1936, quando la Johns-Manville esponeva a New York il suo uomo d'asbesto, i devastanti effetti sulla salute legati all'inalazione delle polveri di quel minerale erano già in parte noti. Ed era anche cominciata la complessa strategia volta a nascondere prove del rischio, portata avanti dalle industrie.

Amianto e salute, il lungo inganno

La storia della ricerca scientifica su amianto e salute è cruciale, perché nei numerosi processi che hanno visto contrapposti gli interessi particolari degli industriali a quelli generali della popolazione e dei lavoratori, la difesa dei primi ha sempre sostenuto che, all'epoca dei fatti contestati, gli studi sulla nocività del materiale erano ancora molto controversi. La ricostruzione storica mostra invece chiaramente che non è così, e che anche il potere politico, per molti anni, è stato assoggettato a quello delle grandi company. Altrimenti, i provvedimenti che hanno bandito l'asbesto, o che ne hanno fortemente limitato l'impiego, sarebbero stati presi molto prima. Di certo, questo colpevole ritardo non ha inciso soltanto sulla salute degli operai, ma anche su quella dei loro familiari: molte donne, per esempio, si sono ammalate di mesotelioma perché alla sera spazzolavano la tuta impolverata dei mariti. E hanno subito gli effetti delle micidiali polveri anche gli abitanti delle città che sono state per decenni il fulcro della produzione. Lontano da quei luoghi, si sono poi ammalate persone che svolgevano lavori che comportavano la manipolazione di prodotti contenenti amianto, come chi costruiva o riparava treni, o la semplice permanenza per lunghi periodi in locali rivestiti con asbesto. Il ritardo ha inciso infine sulla salute degli utilizzatori finali degli oggetti, di semplici cittadini che vivevano magari in una casa con una tettoia ondulata in Eternit. Oggi, fra coloro che pagano le peggiori conseguenze in termini di salute, ci sono gli addetti allo smaltimento di quei tetti, di quei pannelli e di tutti gli altri prodotti amiantati. In Italia, sono spesso extracomunitari e il loro è un lavoro ad alto rischio, non sempre – purtroppo – eseguito con le precauzioni previste dalla legge per limitare i danni dell'esposizione.

Il primo resoconto delle gravi conseguenze dell'inalazione delle polveri di amianto per gli operai che lo lavoravano è molto

Aria da morire

più vecchio di quanto la storia raccontata fin qui farebbe pensare. Nel 1898, nel Regno Unito, Lucy Deane, un'ispettrice che vigilava sulla sicurezza del lavoro in fabbrica, descrisse infatti una malattia dei bronchi e dei polmoni causata dalle polveri di amianto presenti negli ambienti di lavoro: si trattava dell'asbestosi, che tuttavia allora non aveva ancora un nome. Del minerale, da lei definito «evil» (diabolico), Deane chiese anche un'analisi al microscopio, che rivelò «la struttura aghiforme e affilata delle fibre, simili al vetro, che rimanendo sospese nell'aria in quantità elevate generano effetti deleteri», scrisse nel suo rapporto.

L'anno seguente, al Charing Cross Hospital di Londra, il medico Montague Murray attribuì per la prima volta la morte di un suo paziente di 33 anni all'inalazione di polvere di amianto in una fabbrica che produceva tessuti. «Ha lavorato qui per 14 anni, e i primi 10 li ha trascorsi nella stanza della cardatura, la più pericolosa, secondo lui», scriveva Murray. «Mi ha riferito che dei 10 operai che lavoravano lì, lui era il solo sopravvissuto. Non ho nessuna prova di questo, se non ciò che il mio paziente mi ha raccontato. Mi ha detto che sono morti tutti attorno ai 30 anni». Il rapporto di Murray uscì nel 1906 e indusse il governo britannico ad avviare un'indagine conoscitiva, che però non approfondì un bel niente (non fu fatta neppure un'analisi statistica delle morti fra i lavoratori) e si concluse con un nulla di fatto. Nello stesso anno, anche l'ispettorato francese per il lavoro in fabbrica lanciò l'allarme, riportando la morte di 50 operaie che lavoravano alla filatura e alla tessitura dell'amianto, a causa di una malattia che determinava una grave insufficienza respiratoria. Due anni dopo, infine, il torinese Luigi Scarpa riferì al Congresso italiano di medicina interna di 30 casi di lavoratori deceduti per una malattia polmonare particolarmente aggressiva, al Policlinico generale di Torino. Per Scarpa, quanto osservato giustificava «il sospetto che l'industria dell'amianto costituisca, forse a motivo dello speciale pulviscolo cui dà luogo, una delle occupazioni più

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

perniciose [...] e che si impongano speciali misure di igiene e speciali condizioni di lavoro per gli operai».

Gli allarmi dei medici che operavano a stretto contatto con gli operai dell'amianto si moltiplicarono negli anni successivi, e la prova che già allora si basavano su osservazioni concordi e convincenti sta tutta in un episodio del 1918, che è anche la spia di quanto gli interessi economici abbiano pesato sull'intera vicenda. Quell'anno, infatti, le compagnie di assicurazione canadesi e statunitensi decisero di non assicurare più i lavoratori dell'amianto «per via delle attestazioni sulle nocive condizioni di lavoro presenti nelle industrie». Non solo. Alcuni Stati degli Usa iniziarono a prevedere le prime forme di compensazione economica per gli operai del settore, ma questi provvedimenti furono subito aspramente contestati dalle industrie, che li consideravano troppo onerosi. Di fatto, passarono ancora molti anni prima che misure come queste venissero effettivamente tradotte in pratica. Anche il primo atto ufficiale del Regno Unito – che, approvato nel 1931, prevedeva indennizzi e obbligava le aziende a rendere più salubri gli ambienti di lavoro – fu solo parzialmente onorato, almeno fino al 1969, quando venne reso più severo e stringente. Era stato varato sulla scorta di uno studio voluto dal governo britannico, che aveva coinvolto 363 lavoratori: dopo 20 anni in fabbrica, il 66% aveva contratto l'asbestosi, malattia alla quale proprio in quegli anni veniva dato finalmente un nome. Nessuno fra coloro che erano stati impiegati per meno di quattro anni manifestava invece i sintomi della malattia. I dati erano così netti che gli autori esortavano a mettere in atto con urgenza misure per la tutela dei lavoratori, quali l'introduzione di sistemi di aspirazione, l'eliminazione dei processi che generavano polveri in modo più massiccio, la sostituzione del lavoro manuale con quello meccanico (quando possibile), l'uso di sistemi di pulizia più efficaci e infine l'esclusione degli operai giovani dai lavori particolarmente polverosi.

Aria da morire

Ma gli inglesi non erano i soli a sollecitare un’azione rapida: nel 1930, la voce «amianto» dell’*Encyclopédie d’hygiène de pathologie et d’assistance sociale*, dell’Ufficio Internazionale del Lavoro, redatta dal milanese Luigi Carozzi, così si esprimeva: «Oggi che [la tessitura dell’amianto] è molto diffusa, diventa urgente la messa in opera di sistemi di ventilazione. Ogni operazione svolta con l’amianto, a partire dalla sua estrazione, implica un pericolo certo».

Via via che i rapporti medici confermavano le ipotesi più cupo, gli imprenditori iniziarono a temere di veder svanire i loro profitti. Così, già negli anni Trenta, le principali società del settore cominciarono a serrare le fila. Per esempio, l’inglese Turner & Newall, preoccupata per le ricerche sull’asbestosi svolte dal governo britannico sui lavoratori non direttamente impiegati nella produzione – ma addetti all’imballaggio e alla consegna dei prodotti amianti – prese a organizzare riunioni con le altre aziende leader del settore, per approntare una linea di resistenza organizzata. La strategia concordata si basava sulla minimizzazione dei rischi, sempre e con ogni mezzo, in qualsiasi circostanza e ogni volta se ne presentasse l’occasione.

Un altro pilastro della «resistenza» delle company fu poi la sponsorizzazione di studi scientifici, che tuttavia sarebbero rimasti riservati, avendo come solo obiettivo quello di chiarire agli industriali il futuro che avevano di fronte. Un ruolo fondamentale in questa parte della storia lo ebbe un medico americano, che si era fatto le ossa in un sanatorio per la tubercolosi nel Nuovo Messico, e che aveva poi acquisito una forte competenza sugli effetti polmonari dell’inalazione di polveri di vario tipo, lavorando per il Servizio di salute pubblica (Public Health Service). Si chiamava Anthony Joseph Lanza, e negli anni Venti aveva lasciato il servizio pubblico per entrare nella Metropolitan Life Insurance Company, un’azienda che offriva consulenze medico-legali alle assicurazioni e alle industrie. Quando, nel 1929, alcune aziende che lavoravano l’amianto chiesero alla Metropolitan di eseguire

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

degli studi nei loro stabilimenti, per capire se l'asbestosi esistesse davvero, Lanza era l'uomo giusto nel posto giusto. Non gli ci volle molto per capire che la risposta era sì, ma la pubblicazione dei risultati subì ritardi e ripensamenti. Nel 1931, Lanza inviò i dati preliminari a un consulente della Johns-Manville (una delle principali committenti), sottolineando che dovevano restare riservati a meno che le aziende coinvolte non avessero accettato di divulgare i risultati. Lo studio fu infine pubblicato nel 1935 sui «Public Health Reports». Il testo riportava che su 121 lavoratori analizzati, 64 avevano i sintomi dell'asbestosi, e suggeriva di mettere in atto semplici misure per proteggere gli operai (il che avrebbe tutelato le aziende da azioni legali). I toni usati e i risultati presentati erano però stati concordati con gli imprenditori, che avevano avuto l'articolo in lettura prima che venisse inviato alla rivista, e avevano raccomandato di non diffondere dati che potessero nuocere alle società del settore. In una lettera di poco precedente alla pubblicazione dello studio, Vandiver Brown, vicedirettore della Johns-Manville, società che già stava affrontando le prime cause per le malattie dei suoi operai, scriveva a Lanza: «Una delle nostre più importanti linee difensive è stata che le conoscenze scientifiche e mediche sono state insufficienti fino a tempi troppo recenti per poter mettere in atto precauzioni speciali e costose al fine di contrastare l'insorgere di malattie nei dipendenti. Confitto nel fatto che terrai in seria considerazione questi commenti. Sono certo che comprendi pienamente che nessuno nella nostra organizzazione ti sta suggerendo di modificare i risultati o le inevitabili conclusioni. Chiediamo soltanto che tutti gli aspetti positivi dell'indagine siano riportati e che nessuno di quelli sfavorevoli sia involontariamente rappresentato con toni più cupi di quanto le circostanze giustifichino». Il medico della Metropolitan intese molto bene il messaggio che Brown gli inviava. Del resto, negli anni precedenti, Lanza aveva dato prova di essere un uomo delle imprese, più che un medico coscienzioso, in moltissime occasioni.

Aria da morire

Nel 1932, Lanza aveva chiesto a un medico dello US Bureau of Mines di collaborare per eseguire delle radiografie su alcuni operai, raccomandandogli però di tenere per sé i risultati. «Concorderà sul fatto che noi desideriamo che i suoi referti siano tenuti nella più stretta riservatezza e che non sia data nessuna inutile pubblicità al fatto che lei sta collaborando con noi... Vorremmo, se possibile, far sì che i risultati non siano usati contro di noi nelle cause che sono in corso o in quelle che potrebbero essere intentate in futuro». L'anno dopo, il medico dello stabilimento di Waukegan, nell'Illinois, aveva chiesto a Lanza se non fosse il caso di allertare i lavoratori sui rischi delle polveri che respiravano ogni giorno, così da favorire comportamenti che avrebbero potuto ridurre le probabilità di ammalarsi. L'altro fu netto: «Non credo che il pericolo sia tale da giustificare l'affissione di poster... E questo è particolarmente vero se si considera l'eccezionale situazione legale che stiamo attraversando».

Nello stesso periodo, i vertici della Johns-Manville decisero di far eseguire delle analisi periodiche sulla concentrazione delle polveri nei loro stabilimenti, «per cauterarsi in caso di azioni legali»; Lanza suggerì che a condurre i controlli fosse il laboratorio Saranac, di New York, diretto da Leroy Gardner. Con i fondi erogati da diverse aziende, il centro fu incaricato di compiere anche studi su animali, con l'accordo – messo nero su bianco – che i risultati potevano essere pubblicati soltanto con il consenso delle imprese finanziarie, le quali avevano facoltà di decidere se tenerli riservati oppure renderli pubblici, nei modi che sarebbero stati più consoni ai loro scopi. Nel 1936, Gardner scriveva a Brown che i suoi ricercatori avrebbero eseguito gli studi richiesti «per la somma di 5.000 dollari annuali per un periodo di tre anni. Il Saranac Laboratory è d'accordo che i risultati delle ricerche diventino proprietà dei finanziatori e che i manoscritti di ogni relazione siano da loro vagliati prima della pubblicazione».

Un primo filone di ricerca intendeva verificare se l'asbestosi

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

predisponesse alla tubercolosi, ma si imbatté invece in un effetto molto più preoccupante: già nel 1943, un rapporto del laboratorio Saranac riscontrava infatti un tasso esorbitante di tumori al polmone nei topi esposti a polveri di asbesto: l'81,8% degli animali contraeva la malattia. Come era nel loro potere, le aziende interessate bloccarono la divulgazione del risultato e ci fu persino chi arrivò a scandalizzarsi del fatto che questo fosse stato incluso in un rapporto preliminare. Lo studio, reso pubblico nel 1951, si intitolava semplicemente *Asbestosi*, e non conteneva il paragrafo relativo al tumore dei polmoni.

Medici contro lobby: verità e controinformazione

Il rapporto segreto del laboratorio Saranac non era comunque il solo a individuare un nesso fra l'esposizione alle fibre di amianto e il tumore polmonare. Già negli anni Trenta, in Inghilterra, erano stati osservati alcuni casi di operai colpiti da asbestosi che successivamente avevano contratto la neoplasia. Nella Germania nazista, poi, questo tumore era stato incluso fra le malattie professionali causate dall'asbesto già nel 1943, ma gli studi del Reich restarono segreti fino a dopo la guerra, e in seguito furono bollati come propaganda, dato che la Germania, sotto embargo, non poteva in effetti importare il minerale. Sul finire di quel decennio, casi di tumore al polmone si segnalavano tuttavia anche negli Stati Uniti, ma complessivamente i dati erano ancora troppo poco consistenti per poter affermare che quel rischio esisteva davvero. A chiarire le acque, individuando un nesso casuale molto netto, fu l'epidemiologo inglese Richard Doll, della London School of Hygiene, che nel 1955 pubblicò uno studio condotto nello stabilimento di Rochdale della Turner & Newall. I dati mostravano che il rischio di ammalarsi di tumore al polmone fra chi aveva lavorato in fabbrica per almeno 20 anni era 10 volte superiore

Aria da morire

di quello che si riscontrava nella popolazione generale. Il lungo periodo di incubazione della malattia – fra i 20 e i 25 anni – aveva fino ad allora impedito che la relazione emergesse con chiarezza. L’importanza, sia medica che sociale, di questi risultati è cruciale, anche se in seguito il dato sarebbe stato precisato meglio: fra i lavoratori, l’amianto fa aumentare di cinque volte il rischio di tumore al polmone nei non fumatori e di 53 volte nei fumatori.

Come per altri studi sull’amianto, anche in questo caso gli eventi che precedettero la pubblicazione dell’articolo sono importanti almeno quanto il risultato. Il primo a suggerire che nello stabilimento inglese venisse eseguita un’indagine era stato il medico che operava al suo interno, J. Knox, che nel 1952 aveva assistito a un convegno organizzato dal laboratorio Saranac – al quale partecipavano rappresentanti delle industrie e delle compagnie di assicurazione. Fra i temi trattati, c’era stato quello del tumore del polmone, e Knox volle approfondire la questione. Chiese quindi l’aiuto dell’epidemiologo Richard Doll. Quando i risultati furono chiari, Knox ne informò i vertici della Turner & Newall, che tuttavia si opposero con fermezza alla loro pubblicazione. Una simile censura era per Doll inaccettabile, e in una lettera inviata al collega chiarì la sua posizione: «Da parte mia, sento che tutti i dati che riguardano le cause del tumore debbano essere resi disponibili a chi fa ricerca in questo campo [...] Soltanto attraverso la pubblicazione libera da condizionamenti lo studio potrà essere verificato e confermato (o smentito) da altri». La ricerca quindi fu pubblicata priva della firma di Knox, che però compare, senza essere menzionato esplicitamente, nella parte dell’articolo dedicata ai ringraziamenti.

Lo studio fu un duro colpo per la lobby delle industrie; ma mentre i magnati dell’amianto già pensavano alle contromosse, all’orizzonte iniziavano ad addensarsi nubi ancora più nere.

Attorno agli anni Quaranta, un medico sudafricano che operava in una zona dove veniva estratto l’amianto blu rilevò fra i suoi

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

pazienti un numero particolarmente elevato di mesoteliomi, un tipo di tumore molto raro e aggressivo. Ne informò due patologi più esperti di lui, Chris Wagner e Ian Webster, che sospettarono che all'origine dei 47 casi riportati potesse esserci l'esposizione alle polveri di asbesto e decisero di indagare. La ricostruzione dei fatti fu però tutt'altro che semplice, perché il mesotelioma può avere un'incubazione anche di 40 anni, e perché – si scoprì – colpiva anche persone che non erano state direttamente impiegate nell'estrazione del minerale, né nella produzione dei prodotti amiantati. Con pazienza e determinazione i due medici riuscirono tuttavia a documentare che almeno 45 dei malati erano stati esposti in passato all'agente sospetto, alcuni di loro semplicemente giocando, da bambini, accanto ai mucchi di materiali di scarto provenienti dalla miniera, altri perché avevano abitato lì vicino. Lo studio sudafricano uscì nel 1960 e indusse altri medici a verificare se quella forma tumorale così rara fosse in effetti presente con una frequenza sospetta fra coloro che erano stati esposti all'amianto. Nel 1964, il medico statunitense Irving Selikoff invitò i colleghi a fare il punto della situazione in un convegno, organizzato presso l'Accademia delle Scienze di New York. In quell'occasione lo stesso Selikoff presentò i risultati di un suo studio, condotto fra mille difficoltà per via dell'ostracismo delle industrie, nel quale riscontrava un numero particolarmente elevato di mesoteliomi fra gli operai (oltre che di asbestosi e tumori polmonari). Ma il dato più significativo – che faceva tremare le vene ai polsi alle società dell'amianto – era quello che riguardava chi con il lavoro in fabbrica non aveva mai avuto a che fare. Questa evenienza fu infatti confermata dalla relazione dell'inglese Muriel Newhouse, che aveva ricostruito la storia di 76 persone colpite da mesotelioma, ricoverate al London Hospital: circa la metà non aveva mai lavorato nell'industria dell'amianto; molti avevano invece vissuto con una persona impiegata nel settore, o avevano abitato a meno di 800 metri da un impianto. L'idea che si stava facendo

Aria da morire

strada, confermata in seguito da altri studi, era quindi che anche l'esposizione a piccole concentrazioni di fibre di amianto fosse sufficiente a scatenare quella devastante forma tumorale.

A rendersi conto forse più degli altri della gravità dei dati che stavano emergendo fu Irving Selikoff, al Mount Sinai Hospital di New York, che da subito si adoperò per far sì che l'allarme non restasse circoscritto alla schiera degli esperti, ma raggiungesse i giornali, le associazioni professionali e gli imprenditori del settore. In questi ultimi trovò però un muro di gomma. Fiutando il pericolo, uno studio legale che rappresentava diverse industrie di tessitura dell'amianto gli aveva fatto pervenire, già prima del convegno newyorkese, una lettera che lo informava che le industrie erano al corrente di ciò che egli stava per comunicare, e che lo avrebbero citato in giudizio se avesse fatto osservazioni lesive dei loro interessi. In seguito, ci fu chi manifestò la necessità di «trovare un modo per impedire a Selikoff di creare problemi e influenzare il nostro giro d'affari», e chi propose di «metterlo a tacere con i soldi». Non ci riuscirono: Selikoff continuò a denunciare e a studiare i danni dell'amianto fino alla sua morte, avvenuta nel 1992, all'età di 77 anni.

Il medico americano, comunque, non fu il solo a esporsi. Ormai le ricerche stavano diventando di dominio pubblico e fatte oggetto di diversi articoli di giornale (in Italia se ne occupò in particolare «L'Unità»). Il minerale dei miracoli, che aveva fatto sognare il mondo per più di mezzo secolo, iniziava a essere guardato con sospetto e fu anche fatto oggetto dei primi provvedimenti restrittivi. Nel 1969, rendendo più efficaci le norme per la protezione dei lavoratori, l'Inghilterra vietava al contempo l'uso dell'amianto blu. L'anno seguente l'Australia seguì l'esempio mentre gli USA approvarono regole più stringenti per la lavorazione e il trasporto nel 1972. La lobby dell'amianto si organizzò dunque per mettere in campo una nuova strategia difensiva.

I metodi usati e i passaggi fondamentali di questa fase sono

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

ben descritti nelle motivazioni della sentenza per il processo Eternit, conclusosi a Torino nel 2012, e di importanza capitale per i suoi esiti:

«Tale diffusione di informazioni sempre più precise sulla pericolosità delle polveri di amianto induce gli industriali del settore ad elaborare una strategia comune.

In occasione della conferenza internazionale delle organizzazioni di informazione sull'amianto (Asbestos Information Committee) tenutasi a Londra nel novembre del 1971 [...], il presidente dell'Asbestos Information Committee, M.F. Howe, prevedendo che le critiche contro l'amianto si sarebbero intensificate, consiglia [...] di collaborare all'elaborazione di una legislazione più vincolante, istituendo, nel contempo, un comitato d'azione (cioè una lobby) che metta a punto una strategia di comunicazione. Egli osserva infatti che "gli attacchi, anche improvvisi, possono essere opera di giornalisti del settore medico o di esperti medici dei vostri Paesi, oppure scaturire dagli scritti e dalle dichiarazioni di esterni, quali i dottori Selikoff e Rattray-Taylor, o essere ispirati dai sindacati. Possono colpire dapprima determinati prodotti... o dirigersi all'uso dell'amianto in generale. Secondo me, in misura crescente saranno legati a timori per l'ambiente".

Howe invita pertanto i partecipanti a esaminare con attenzione, e a sviluppare, i loro strumenti di difesa (soprattutto in termini di controinformazione, con la diffusione di scritti e di opuscoli "tranquillizzanti") nei confronti dei futuri attacchi, con l'obiettivo principale di partecipare, ove possibile, all'elaborazione delle normative da parte dei singoli governi [...]: in tale ottica verranno pubblicate, nel 1976, numerose pagine di pubblicità sui principali quotidiani europei che evidenziano come "i problemi che pone l'amianto sono irrilevanti in confronto agli enormi servizi che vi rende ogni giorno senza che neppure lo sappiate. Questi problemi sono e saranno risolti"».

Aria da morire

La strategia «a tutto campo», basata sulla controinformazione e le pressioni politiche, si intensificò negli anni a seguire. Quando, nel 1977, l’Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro di Lione (IARC) classificò l’amiante come cancerogeno certo per l’uomo (il ché avveniva dopo una valutazione durata pochissimo, tanto le prove erano schiaccianti), le industrie iniziarono a pianificare incontri periodici – chiamati *tour d’horizon* – per allestire le contromisure. Nel 1981, dopo che la Commissione Europea aveva raccomandato che le informazioni sulla pericolosità del minerale fossero diffuse anche presso le organizzazioni professionali, le università e i medici del lavoro, le lobby concordarono di «lottare per l’amiante in Europa, almeno contro le proposte e le minacce più estreme [...]» si legge in un rapporto riservato. «Le azioni da intraprendere dovrebbero includere la ricerca del sostegno da parte di membri del Parlamento europeo, soprattutto tra coloro che hanno impianti di lavorazione dell’amiante nelle loro circoscrizioni elettorali».

Queste condotte non furono prive di efficacia, e ritardarono l’approvazione di provvedimenti a tutela dei lavoratori e della popolazione anche nei Paesi che parevano più attenti alla questione. La stessa legge inglese del 1969 fu poi aspramente criticata perché, in un periodo in cui la relazione fra esposizione alle fibre di amianto e tumori era già ampiamente documentata, non aveva preso in considerazione i carcinomi e si era invece limitata a prevedere misure cautelative nei confronti dell’asbestosi (la tutela dei lavoratori inglesi anche riguardo ai tumori arriverà 10 anni dopo). In Italia, una legge del 1943 aveva incluso l’asbestosi fra le malattie professionali per le quali era obbligatoria l’assicurazione, ma solo dal 1994 sono state riconosciute come professionali anche le altre malattie dovute all’amiante, se non accompagnate da asbestosi.

Uno studio pubblicato su «British Journal of Cancer» e diretto dall’epidemiologo inglese Julian Peto ha fatto una stima delle conseguenze di questo ritardo. Nel 1999, ha calcolato che

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

nei successivi 30-35 anni i casi di mesotelioma fra gli uomini, nella sola Europa occidentale, sarebbero stati circa 250.000, con il picco dell'incidenza fra il 2015 e il 2020. Sommando a questa cifra quella relativa ai tumori polmonari e alle asbestosi, si giunge a quasi 400.000 morti, che si sarebbero potuti evitare se le limitazioni all'uso dell'amianto e le norme per la sicurezza sul lavoro fossero state decise quando le prove scientifiche sulla nocività del minerale iniziavano a essere prodotte. Passando dalle stime alla conta dei morti, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) valuta in 90.000 all'anno il numero di decessi fra i lavoratori in tutto il mondo per malattie asbesto-correlate, e in «molte migliaia» quelli di persone esposte in ambiti non professionali. La situazione è particolarmente critica in Italia, che con la cava di Balangero – chiusa negli anni Ottanta – è stata per decenni il secondo produttore di amianto in Europa dopo l'Urss, oltre che uno dei principali utilizzatori. Secondo il Registro nazionale dei mesoteliomi (ReNaM), dal 1993 al 2004 sono stati diagnosticati nel Belpaese 9.166 casi di questi tumori, «con un'esposizione che nel 69,8% dei casi è stata professionale» si precisa nel Terzo Rapporto, uscito nel 2010. E, dopo l'edilizia, i settori più a rischio sono la cantieristica navale, l'industria metallurgia e metalmeccanica, quella tessile, ma anche il settore ferroviario e la difesa militare. Ma il picco dell'incidenza è atteso nei prossimi anni: già oggi il mal d'amianto uccide circa 3000 persone all'anno, e circa la metà dei decessi è dovuta al tumore della pleura. Nell'insieme, si stima che il 50% di tutte le neoplasie attribuibili a un'esposizione professionale sia dovuta alle fibre di asbesto.

Finalmente bandito

L'Islanda è stata il primo Paese a bandire l'amianto in tutte le sue forme, nel 1983; l'Italia ha fatto lo stesso con la legge 257 del

Aria da morire

1992, che prevede anche un piano di monitoraggio e bonifica dei siti contaminati, e stabilisce benefici pensionistici per i lavoratori esposti. Negli anni seguenti diversi altri governi hanno adottato misure simili e complessivamente oggi sono una sessantina i Paesi in cui il minerale è vietato, o subisce forti limitazioni nell'impiego (compresi quelli dell'Unione Europea, che ha imposto il bando a tutti i suoi Stati membri). Significativo è stato il caso della Francia, la cui legge del 1997 è stata impugnata davanti all'Organizzazione Mondiale per il Commercio (WTO) dal Canada, a tutt'oggi uno dei maggiori produttori di amianto al mondo assieme a Russia, Cina, Kazakistan e Brasile. La decisione finale del WTO, datata 2001, non solo ha dato ragione alla Francia, ma ha precisato che tutte le forme di amianto (bianco, blu e bruno) sono cancerogene e non c'è una soglia al di sotto della quale l'esposizione può dirsi sicura. La sentenza era in linea con quanto dichiarato dall'OMS, che oggi stima ci siano almeno 127 milioni di persone nel mondo esposte alle polveri del minerale in ambienti lavorativi. Accade dove questo è ancora estratto, lavorato e utilizzato: in Asia, principalmente, ma anche in Brasile e nel vasto territorio dell'ex Unione Sovietica. La posizione dell'OMS, peraltro, è chiara e netta: «Considerato che non c'è una soglia minima al di sotto della quale non si manifesta l'effetto cancerogeno, e che un aumento del rischio di tumori è stato osservato in popolazioni esposte a livelli molto bassi, il modo più efficace di eliminare le malattie asbesto correlate è smettere di usare tutti i tipi di amianto. L'uso di cemento-amianto nell'industria delle costruzioni è particolarmente preoccupante, perché la forza lavoro impiegata è consistente, è difficile controllare l'esposizione, e perché i materiali possono deteriorarsi e mettere a rischio anche coloro che in seguito faranno ristrutturazioni, lavori di mantenimento e demolizioni. Nelle sue varie applicazioni, l'asbesto può essere sostituito da altri materiali fibrosi e da prodotti che non pongono rischi per la salute». La precisazione

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

è d'obbligo, dato che alcuni materiali proposti in passato erano ottimi sostituti dell'amianto proprio perché avevano una struttura fibrosa simile, e altrettanto rischiosa. Nel 2002 la IARC ha lanciato l'allerta, classificando come possibilmente cancerogene alcune lane minerali, la classe di sostanze più «promettenti». All'interno di questo gruppo, comunque, esistono materiali con un profilo di rischio accettabile, che hanno rimpiazzato in molti impieghi l'amianto.

Intanto, nei Paesi che nel secolo scorso sono stati al centro della produzione mondiale si moltiplicano le cause di chi si è ammalato. I lunghi periodi di incubazione del cancro del polmone e del mesotelioma rendono però difficile l'azione giudiziaria, perché in alcuni Stati (per esempio, Svizzera e Belgio) è nel frattempo intervenuta la prescrizione. Il fallimento di alcune delle grandi company del passato, poi, complica l'erogazione dei risarcimenti, che dovrebbero oggi essere a carico degli ex soci e amministratori, alcuni dei quali deceduti. Anche il riconoscimento della responsabilità penale di chi ha gestito quelle imprese è difficile, sebbene una delle principali tesi sostenute dagli avvocati della difesa – ovvero che all'epoca dei fatti le conoscenze scientifiche fossero ancora incerte e non sufficienti a suggerire l'adozione di precauzioni – è stata ormai smentita dalle testimonianze, dall'esame degli studi pubblicati, oltre che dal reperimento di documenti che sarebbero dovuti restare *top secret*.

Esemplare, in questo senso, è la sentenza emessa a Torino il 13 febbraio del 2012, dopo un processo estremamente complesso, con oltre 6.000 parti civili, conclusosi dopo 66 udienze. Il tribunale ha condannato per disastro ambientale permanente doloso e omissione dolosa di cautele antinfortunistiche Stephan Schmidheiny e il barone belga Louis Marie Ghislain de Cartier de Marchienne, ultimi responsabili della Eternit italiana, fallita nel 1986. Per quanto avvenuto negli stabilimenti di Bagnoli e Rubiera i reati sono caduti in prescrizione, ma per i fatti di Casale

Aria da morire

Monferrato e Cavagnolo i due imputati sono stati condannati a sedici anni di reclusione ciascuno (che però non sconteranno) e al pagamento di circa 95 milioni di euro. I risarcimenti andranno alla Regione (20 milioni), ai comuni interessati dall'inquinamento (25 e 5 milioni rispettivamente), all'Inail (15), ai circa 2.300 fra morti e malati (30.000 euro per i primi, 35.000 ai secondi), e alle associazioni di cittadini, sindacali e ambientaliste che avevano denunciato quanto stava accadendo (circa 100.000 euro). Il verdetto è importante perché di fatto mette alla sbarra l'intera lobby dell'asbesto. Ma l'intera vicenda italiana sarà ancora più significativa se una nuova condanna dovesse arrivare dall'inchiesta Eternit bis, che vede i due magnati del cemento-amianto inquisiti, stavolta, per omicidio volontario con dolo eventuale.

Di certo, per ora, c'è che questo processo avrà ripercussioni anche su altri simili, che si celebrano in Italia e all'estero. Lo ha sottolineato la rivista «Epidemiologia&Prevenzione»: «Dopo questa sentenza, emessa in una causa penale e non solo civile, sarà più difficile per altri imprenditori trincerarsi dietro le incertezze della scienza per anteporre il profitto alla salvaguardia della salute di lavoratori e cittadini. Lo sanno bene le delegazioni straniere di operai che si sono ritrovate nell'aula del tribunale di Torino [...] e che torneranno nei loro Paesi, dove ancora si utilizza l'amianto, con un'arma in più per chiederne la messa al bando e per chiedere il giusto riconoscimento dei danni». Ma la battaglia non è finita – sottolinea la più importante rivista di epidemiologia italiana – e molto resta da fare. «Non è finita la ricerca sui meccanismi patogenetici del mesotelioma, né quella sulla cura di questa terribile neoplasia per ora intrattabile, nemmeno quella nelle aule di tribunale, dove periti "di parte" ancora discutono sulla possibilità o meno di prevenire i danni da amianto per mezzo di misure di sicurezza».

E in Italia, cosa resta da fare?

Non è finita, infatti. E se, come si è visto, il picco delle malattie negli ex lavoratori dell'amianto e negli ex esposti è atteso nei prossimi anni, nei decenni a seguire toccherà a coloro che oggi si occupano delle bonifiche, che comunque – va notato – sono numericamente molto pochi rispetto ai lavoratori esposti in passato. Nel 2008, uno studio pubblicato su «British Journal of Cancer», condotto su oltre 30.000 addetti alla rimozione dell'amianto, seguiti a partire dal 1971, ha trovato importanti aumenti del rischio di mortalità per malattie cardiovascolari, tumore del polmone e mesotelioma. È un risultato preoccupante, specie se si considera che questi lavoratori e le ditte che li impiegano sono consapevoli dei rischi che corrono, e sono anche obbligati a osservare particolari cautele nello svolgimento della loro professione.

Riguardo alle bonifiche, poi, moltissimo resta da fare. In Italia, non è stato ancora neppure completato il censimento dei siti contaminati, sebbene la legge del 1992 obbligasse le Regioni a fare la mappatura. A tutt'oggi, al Ministero dell'Ambiente mancano i dati di Sicilia e Calabria, mentre altre Regioni hanno fornito informazioni comunque incomplete. I 34.148 siti censiti finora sono quindi soltanto una parte di quelli presenti sul territorio. Fra questi, secondo il Ministero dell'Istruzione, ci sarebbero circa 2.400 scuole (il 5% del totale), che però dal 2010 non possono più accedere ai finanziamenti per le bonifiche. Ma è una stima forse persino ottimistica. Il rapporto *Ecosistema scuola 2011* di Legambiente ha segnalato che le situazioni a rischio rappresentano circa il 10% del totale, ma il 18% dei comuni – specie nelle isole e al Sud – non ha verificato la presenza di amianto in questi luoghi, dove bambini e ragazzi trascorrono molta parte del loro tempo. «Anche se la percentuale dei comuni inadempienti può sembrare bassa, non lo è rispetto ai margini di rischio che questa

Aria da morire

inadempienza può generare in strutture pubbliche come gli edifici scolastici», sottolinea il rapporto.

Se si esclude il caso delle scuole, dove il censimento sarebbe più che mai urgente, va tuttavia riconosciuto che è davvero difficile scovare l'amianto in tutti gli edifici che ancora lo contengono, nelle tubature per il trasporto di acqua e gas (si stima che 83 mila chilometri di condotte interrate contengano ancora il minerale) e, ancora di più, nelle case private, fra canne fumarie, vecchi elettrodomestici e tettoie. A complicare la questione c'è poi il fatto che le tecniche usate per censire i siti contaminati sono disomogenee e non sempre affidabili. La più attendibile è probabilmente il telerilevamento, che tuttavia non permette di valutare l'amianto che si nasconde sottoterra, o all'interno degli edifici, ed è troppo costoso per poter essere usato in modo sistematico. Lo ha usato, nel Lazio, l'Istituto sull'inquinamento atmosferico del CNR, a Roma, su una superficie pari al 4,7% del territorio della Regione. Il metodo ha permesso di fotografare dall'alto quasi un milione e 70.000 metri quadrati di coperture in Eternit, distribuite su 2.966 siti.

Sono invece ben conosciute, e tristemente famose, le contaminazioni da amianto presenti nelle aree industriali già note per essere ad alto rischio: nel 2011, lo studio *Sentieri*, coordinato dall'Istituto Superiore di Sanità e pubblicato da «Epidemiologia&Prevenzione», ha trovato un eccesso di mortalità per mesotelioma in 11 Siti di interesse Nazionale (SIN), fra quelli inclusi nel programma nazionale di bonifiche. A questi, l'indagine aggiunge Emarese, in provincia di Aosta, dove le polveri derivano dalla presenza di una ex miniera, e dove tuttavia l'esiguità della popolazione non ha permesso di rilevare qui un eccesso di tumori della pleura. Cinque dei siti individuati soffrono di una contaminazione che dipende esclusivamente dall'amianto. Si tratta di Casale Monferrato, dell'ex miniera di Balangero, degli stabilimenti Fibronit di Bari e di Broni (Pavia) e del paese

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

di Biancavilla (Catania), dove le polveri derivano da una cava di laterizi che contiene fluoroedenite, un minerale molto simile all'asbesto, che pone gli stessi rischi per la salute. Gli altri presentano invece forme multiple di inquinamento, fra le quali però l'asbesto riveste un ruolo significativo. I più critici sono Pitelli (La Spezia), Massa Carrara, Priolo e l'area del litorale vesuviano. Ma l'elenco potrebbe continuare. Occorre aggiungere, per esempio, i grandi cantieri navali che hanno dato lustro al Belpaese nel secolo scorso: Monfalcone, La Spezia, Genova... tutti hanno fatto largo uso del minerale. O il porto di Livorno, dove a partire dal 1957 è transitato il 15% di tutto l'amianto importato in Italia.

Nei siti più compromessi, ancora più che altrove, la risoluzione del problema si scontra con gli alti costi delle bonifiche, che sono operazioni molto complesse. Per limitare la dispersione nell'ambiente delle micidiali polveri, e proteggere i lavoratori, i passaggi previsti per legge sono infatti numerosi e sofisticati. Gli addetti indossano tute monouso, guanti e maschere protettive; gli ambienti vanno opportunamente confinati e sigillati fin dall'allestimento del cantiere, e in tutte le fasi occorre seguire monitoraggi della presenza di fibre nell'aria. A seconda delle caratteristiche del materiale e della probabilità che questo rilasci polveri, l'intervento può poi prevedere la rimozione dell'amianto, l'incapsulamento con impregnanti che lo fissano rendendolo innocuo, oppure il confinamento, ovvero l'installazione di barriere che isolano l'inquinante. Solo a Broni, dove dal 1932 al 1993 è stato prodotto cemento-amianto, e dove i casi di mesotelioma sono in crescita, il costo stimato per la messa in sicurezza, la bonifica e lo smaltimento dell'amianto è di 20-21 milioni di euro.

Né va meglio ai privati cittadini, che quasi sempre devono sborsare di tasca propria cifre non indifferenti, anche al netto delle detrazioni previste (la bonifica rientra comunque fra le spese che beneficiano delle agevolazioni fiscali per le ristrutturazioni edilizie). Certo, considerati i rischi, si tratta di interventi per i

Aria da morire

quali vale la pena rinunciare a una vacanza. Ma a complicare il quadro c'è anche il fatto che i costi variano sensibilmente da una regione all'altra. I calcoli li ha fatti Legambiente. Nel Lazio, per rimuovere un pannello in Eternit di 10 metri quadrati si spendono dai 750 ai 1250 euro, in Sardegna ne bastano 260, in Piemonte 300, e si arriva a 2000 in Puglia, dove però il prezzo è identico per qualsiasi superficie rimossa inferiore ai 25 metri quadrati.

Di questo passo, per liberare il Belpaese dal pericoloso inquinante occorreranno ancora decenni. Probabilmente, non ce la farà nei tempi che si è data neppure la Lombardia, che ha varato un piano in cui prevede di disfarsi dei due milioni e 670.000 metri cubi di amianto presenti sul suo territorio entro il 2015, anno dell'Expo (anche qui, per individuare i siti l'Arpa ha usato il tele-rilevamento). Del resto, le situazioni critiche sono numerosissime. A Milano, andrebbe bonificata una buona fetta delle case popolari dell'Aler, costruite – come moltissimi edifici analoghi in tutta Italia – nel periodo in cui l'amianto veniva messo dappertutto. Esemplare è il caso delle «case bianche» nella periferia sud-est del capoluogo lombardo, che ne sono letteralmente ricoperte e imbottite: qui, stando a notizie di stampa, negli ultimi trent'anni sono morti 47 inquilini per malattie riconducibili all'amianto. Dopo anni di polemiche, per la bonifica sono stati infine stanziati 15 milioni di euro: otto dal Comune e sette dalla Regione.

L'altro ostacolo che si frappone fra l'obiettivo dichiarato dalla legge lombarda e il suo concreto raggiungimento è poi il fatto che qui, come altrove, le discariche dove depositare il materiale rimosso sono insufficienti. Quelle autorizzate di recente non arrivano a smaltire la metà di quanto sarebbe necessario, sebbene altri siti abbiano chiesto l'autorizzazione. Il rischio che si corre in situazioni come questa è che l'amianto rimosso sia smaltito in discariche abusive, prive degli standard che dovrebbero garantire uno stoccaggio sicuro. Per la mafia, è un affare d'oro. Di siti come questi ne sono stati trovati lungo tutto lo stivale, da Bergamo a

Amianto: l'illusione del materiale perfetto

Brindisi, mentre l'apertura di nuove discariche autorizzate incontra sempre l'ostilità di chi vive attorno ai luoghi individuati.

Per uscire dal vicolo cieco occorre gettare uno sguardo all'estero, a Paesi come la Germania o la Francia, che allo smaltimento in discarica affiancano l'inertizzazione, un procedimento industriale che, attraverso un trattamento termico, trasforma l'amianto in un minerale vetroso, poi utilizzato per costruire le strade. Gli impianti operano a temperature che superano i 1.000 gradi, per far sì che le fibre si fondano perdendo le caratteristiche che le rendono nocive. L'analisi microscopica conferma che della struttura fibrosa originaria non resta traccia. In Italia, un decreto del 2004 rende possibile l'inertizzazione, ma la quantità di materiali che devono essere smaltiti da noi rende irrealistico pensare che questo procedimento possa essere usato su tutto. Inoltre, l'opposizione delle popolazioni alla costruzione degli impianti rende difficile procedere in questo senso. A spaventare non è tanto il prodotto finito, ma il materiale che entra: onduline, filtri, isolanti, pannelli e altri materiali amiantati, che devono essere trasportati fin lì, e che lì devono essere stoccati e poi trattati, in condizioni super-sicure. La parola amianto oggi fa paura. E la gente non si fida.



COME RIDURRE IL RISCHIO PERSONALE

1. Sebbene la presenza di amianto in un edificio non si traduca automaticamente in un rischio per gli occupanti (perché la probabilità che i materiali in buone condizioni rilascino fibre è molto bassa), la valutazione deve essere sempre fatta da un occhio esperto. Se fabbricati prima della messa al bando, possono contenere amianto: i

Aria da morire

rivestimenti isolanti per pareti, tubature, canne fumarie, serbatoi dell'acqua; pavimenti in mattonelle di vinile, PVC o altre plastiche rinforzate, cartoni, carta e filtri per caldaie, forni e termosifoni, imbottiture isolanti, corde e tessuti ignifughi. Contengono certamente amianto tutti i prodotti in eternit. Il sito dell'Arpa dell'Emilia Romagna contiene molte informazioni utili sulle bonifiche.

<http://www.arpa.emr.it/amianto/>

2. Per verificare il rischio amianto i privati possono rivolgersi ai Dipartimenti di Sanità pubblica delle Asl, alle Sezioni provinciali dell'Arpa o ai laboratori specializzati. Questi soggetti forniscono anche informazioni sull'iter burocratico da seguire.
3. Se il sospetto riguarda una scuola, bisogna avvisare il Comune o la Provincia (proprietari dell'edificio) attraverso gli organi scolastici, e l'Arpa della propria regione.
4. Se l'amianto si trova in un luogo di lavoro, va informato il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) dell'azienda, che ha l'obbligo di intervenire per sanare la situazione.
5. In presenza di rifiuti abbandonati contenenti amianto bisogna avvisare il comune (e/o l'azienda che gestisce lo smaltimento dei rifiuti) e l'Arpa della propria regione.
6. Il sito dell'Osservatorio nazionale amianto (**<http://osser-vatorioamianto.jimdo.com/>**) fornisce molte informazioni anche di carattere pratico sull'iter da seguire per ottenere eventuali indennizzi o per fare denunce. ■

7. RADON: IL NEMICO NASCOSTO NELLE NOSTRE CASE

Dalle viscere della terra

Il radon non si vede e non ha nessun odore. Non è uno dei frutti cattivi della tecnologia, né dipende da catastrofi naturali o dai mutamenti climatici. In fondo, non è colpa di nessuno se un gas radioattivo e pericoloso si annida nelle nostre case. Neppure l'industria chimica può essere messa alla sbarra, perché il rischio non è maggiore nei siti contaminati di interesse nazionale, quelli in cui la presenza di sostanze inquinanti, dovuta perlopiù a processi industriali, è tale da richiedere piani di bonifica vasti e articolati. Al contrario, sebbene ci siano grosse variazioni da un edificio all'altro, i dati relativi all'Italia dicono che, in media, le aree più a rischio sono alcuni luoghi a cui non si penserebbe mai, posti dove chi vive in città fugge nei weekend per non avere pensieri, come alcune vallate alpine o certi paesini del Centro, rinomati per il vino, il cibo genuino e l'aria buona. Forse per tutti questi motivi, la pericolosità del radon è stata a lungo sottovalutata, e certamente il fatto che si tratti di un inquinante «naturale», presente cioè naturalmente nell'ambiente, non ha aiutato ad alzare la guardia. Così, recentemente, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha deciso di non utilizzare più quell'aggettivo ingannevole nei suoi documenti ufficiali in materia.

I primi sospetti che dalle viscere della terra si sprigionasse qualcosa di letale sono emersi lontano dagli ambienti rassicuranti delle mura domestiche, in quelli oscuri e malsani delle miniere,

Aria da morire

dove i lavoratori morivano per malattie polmonari descritte già nel Cinquecento dal tedesco Georg Agricola, il padre della mineralogia, che fu per qualche tempo medico nelle miniere d'argento a Joachimstahl (oggi Jachymov), cittadina dei Monti Metalliferi, nell'odierna Repubblica Ceca.

Nel 1879, i primi a individuare la natura del male che mieteva vittime fra i minatori furono due medici tedeschi, F.H. Harting e W. Hesse, che eseguirono una serie di autopsie sulle vittime, e descrissero masse tumorali che classificarono come linfosarcomi. Il radon fu poi scoperto nel 1900, isolato e caratterizzato negli anni seguenti, e ben presto messo in relazione con l'uranio, elemento presente nelle rocce, da cui deriva. Ma in un'epoca in cui i danni della radioattività erano tutt'altro che chiari, al punto che alcuni scienziati (fra cui Marie Curie, due volte premio Nobel) morirono proprio per le conseguenze dell'esposizione alle radiazioni, il responsabile dei tumori che colpivano i minatori faticava a essere scoperto. Si incolpavano, piuttosto, le polveri di metallo oppure l'arsenico, un cancerogeno che pure era presente nei tunnel. Ma perlopiù il problema veniva ignorato dalle autorità, e ritenuto un male inevitabile da coloro che ne morivano, e dalle loro famiglie. Finché, nel 1932, su «The American Journal of Cancer» uscì uno studio molto dettagliato a firma di August Pirchan, direttore medico dello State Radium Institut di Jachymov, e di Herman Sikl, professore straordinario di patologia all'Università di Praga. L'articolo raccontava la storia del distretto minerario di Jachymov, ed esaminava dettagliatamente nove casi di minatori morti per tumore polmonare, di cui era stata eseguita l'autopsia e raccolta la storia personale e lavorativa. Lo studio merita di essere riprodotto per l'importanza delle conclusioni a cui giunse, la modernità delle soluzioni proposte ai fini di limitare le morti fra i lavoratori, e anche per come catturava lo spirito del tempo quanto a conoscenze sulla radioattività e sui suoi effetti per la salute.

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

«Nelle miniere dei Monti Metalliferi, sia sul versante boemo che su quello sassone, è noto da secoli che i minatori muoiono prematuramente con i sintomi di una malattia polmonare e di una progressiva ed estrema debolezza [...] la cui natura tumorale è stata definitivamente riconosciuta.

In Cecoslovacchia, circa 30 chilometri a sud di Schneeberg, si trova Jachymov, una piccola cittadina mineraria di 8000 abitanti. Oggi è famosa per l'estrazione del radio, ma la sua storia è molto antica. Jachymov iniziò a essere conosciuta nel 1516, quando qui furono scoperte alcune ricche vene d'argento [...]. In seguito, dalle miniere si ricavarono cobalto, nickel, bismuto e arsenico, ma la prosperità iniziale non tornò mai e il lavoro rimase poco remunerativo. Nella seconda metà del XIX secolo, iniziò lo sfruttamento dell'uranio e si costituì un'industria mineraria statale. All'inizio di questo secolo, dopo la scoperta del radio da parte di Marie Curie, si iniziò a produrre industrialmente questo elemento. [...]»

L'articolo prosegue rilevando il disinteresse delle autorità nei riguardi della salute dei minatori, e il decisivo cambio di atteggiamento che avvenne soltanto quando, in seguito alla pubblicazione di alcuni rapporti medici, i media locali e poi quelli nazionali iniziarono a documentare quanto stava accadendo a Jachymov. Nel 1929, in seno al Ministero della Salute, si costituì dunque un'apposita commissione di studio, e a supportare e finanziare le ricerche furono anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità e la Lega delle Nazioni.

Nella seconda parte, Pirchan e Sikl descrivono i nove casi di minatori morti di tumore al polmone e passano infine alle conclusioni.

«La questione della natura dell'agente che causa il cancro è molto delicata e non è ancora stata risolta in modo soddisfacente né a Schneeberg né a Jachymov. Fra i minatori di Schneeberg sono state

Aria da morire

trovate gravi forme di antracosi dei polmoni [accumulo di polveri N.d.A.], che sono quindi state considerate causa del tumore. Nei casi da noi esaminati, tuttavia, i livelli di antracosi erano lievi [...] e non superiori alla media, considerata l'età dei pazienti.»

Poiché le autopsie non avevano rilevato la presenza di altri materiali estranei, i due medici iniziarono a sospettare che a causare la malattia potesse essere un agente capace di insinuarsi nel tessuto, permanervi per un tempo breve ma sufficiente a far danni, e poi essere eliminato o distrutto. Considerato l'elevatissimo livello di radioattività presente nelle miniere:

«Viene il sospetto che l'emanazione del radio [espressione usata allora per indicare il radon N.d.A.] possa essere responsabile della frequenza dei tumori. [...] Gli stessi minatori affermano che la scoperta di una ricca vena di uranio è sempre seguita, qualche anno più tardi, da un forte incremento della mortalità fra i lavoratori. Sembra che un livello medio di radioattività possa essere ben tollerato nel tempo senza che provochi danni. Tuttavia, se teniamo conto che i minatori passano circa sette ore al giorno, quotidianamente, in questa atmosfera, non sorprende che inalino una enorme quantità di "emanazione", che nel corso di molti anni potrebbe danneggiare l'organismo per via di un'azione cumulativa. Al momento, ovviamente, questa è soltanto un'ipotesi».

Nella parte finale dell'articolo, i due autori suggerivano alcune misure per ridurre la radioattività nelle miniere, come lo scavo di pozzi di areazione e l'uso di respiratori al carbone attivo. E auspicavano che altri medici approfondissero la questione, anche con esperimenti su animali. Questi, in effetti, furono eseguiti negli anni seguenti su topi e conigli, confermando il sospetto. Sebbene i risultati fossero vivacemente contestati dai medici che operavano nei centri termali, alla fine degli anni Trenta era già

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

abbastanza chiaro, in Germania, che il radon era cancerogeno. Nel libro *La guerra di Hitler al cancro*, Robert Proctor attribuisce anzi anche a questa consapevolezza la decisione di sostituire i minatori tedeschi con i prigionieri dei campi di concentramento, che a partire dagli anni Quaranta lavorarono effettivamente per estrarre uranio a Jachymov e a Schneeberg.

Tuttavia, se si eccettua quel primo articolo pubblicato da Pirchan e Sikl pochi mesi prima dell'ascesa di Hitler, i dati ottenuti in Germania restarono chiusi entro i confini del Reich fino alla fine della seconda guerra mondiale e, anche in seguito, fecero fatica a essere accettati, certamente anche a causa del sentimento oscuro che nell'immediato dopoguerra aleggiava su tutto ciò che era stato prodotto dalla dittatura più sanguinaria dell'Occidente.

Negli anni Cinquanta, le autorità svedesi furono le prime a eseguire misurazioni delle concentrazioni di radon nelle abitazioni, indicando nei materiali da costruzione radioattivi la più probabile fonte di contaminazione. Ma i medici americani non erano ancora pienamente convinti che questo gas causasse il cancro al polmone, e le prime indagini di una certa importanza che individuavano il legame, condotte al di fuori della Germania, risalgono all'inizio del decennio successivo. Su commissione del governo statunitense e della Commissione per l'energia atomica, fu effettuato uno studio su minatori del Colorado, pubblicato nel 1962. Ne seguì un secondo, nel 1964, e poi numerosi altri, anche in Canada, Cecoslovacchia e altrove. I risultati fugavano ogni dubbio: a causare il cancro era il radon.

Il cugino dell'uranio, e i suoi vivacissimi figli

Indicato sulla tavola periodica degli elementi con la sigla ^{222}Rn (il numero è quello delle particelle presenti nel nucleo atomico), il radon è un gas radioattivo che si sprigiona costantemente dal

Aria da morire

terreno. È, infatti, un prodotto della trasformazione dell'uranio 238 (^{238}U), presente ovunque nel sottosuolo e, in concentrazioni più elevate, nei graniti e nelle rocce vulcaniche. All'aperto, il radon si disperde immediatamente e non rappresenta quindi un pericolo; tende invece a ristagnare negli ambienti chiusi e non areati, siano essi edifici, tunnel o miniere. A qualche giorno dalla sua formazione, il radon si trasforma emettendo radiazioni, in un processo noto come decadimento radioattivo, che produce a catena una serie di altri elementi chimici, chiamati «figli del radon». Questi ultimi hanno una vita molto breve, di pochi minuti o anche frazioni di secondo e, trasformandosi, emettono a loro volta particelle radioattive. Sono: il polonio 238, il piombo 214, il bismuto 214 e infine il polonio 214, che decade in piombo 210, molto più stabile dei precedenti. Il vero pericolo è rappresentato da loro, responsabili del 99% delle radiazioni assorbite dai polmoni e attribuibili alla radioattività negli ambienti indoor. Infatti, mentre il radon tende a reagire poco e, anche se inalato, è perlopiù espulso con l'esppirazione prima che abbia il tempo di decadere, i suoi vivacissimi figli, estremamente reattivi, aderiscono alle pareti dei bronchi e penetrano in profondità nei polmoni, emettendo qui le radiazioni che danneggiano il Dna, e innescando così il processo tumorale. Ricerche di biologia molecolare, condotte su cellule coltivate in laboratorio, hanno fotografato i danni estesi sui cromosomi e su numerosi geni determinati dalla radioattività, e le stesse mutazioni sono state individuate anche nei tessuti malati dei minatori esposti al radon. Sebbene polmoni e bronchi siano gli organi più suscettibili, i gas radioattivi possono penetrare nel circolo sanguigno, attraverso le sottili pareti dei capillari che irrorano gli alveoli, e da qui poi diffondersi ad altri distretti. I ricercatori hanno quindi indagato un possibile effetto di questi inquinanti sugli organi più facilmente raggiungibili, come il cuore e i vasi, o il midollo osseo, tessuto in cui si formano le cellule

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

del sangue. La probabilità di incorrere in una malattia cardio-vascolare, come ictus e infarto, non ha mostrato di aumentare in relazione all'esposizione neppure fra i minatori che, come si è visto, sono la categoria di gran lunga più soggetta ai rischi del radon. Alcune indagini sui lavoratori delle miniere hanno invece rilevato un aumento delle leucemie (i tumori dei globuli bianchi), ma il dato non ha poi trovato conferme convincenti nella popolazione generale. Qualcosa di simile è avvenuto per il cancro dello stomaco, altro organo che potrebbe essere bersaglio del radon e dei suoi figli, in particolare attraverso l'ingestione di acqua contaminata, presente nelle zone dove l'inquinamento è maggiore. Il sospetto che potesse esserci un legame fra il radon e i tumori del tratto digestivo, emerso anche in questo caso dagli studi sui minatori, non è stato comunque suffragato dalle indagini sull'inquinamento indoor. E tuttavia, poiché una relazione di causa ed effetto rimane in questo caso assolutamente plausibile, nel 2001 l'Unione Europea ha raccomandato di controllare i livelli nelle acque destinate all'uso umano, e di mettere in atto misure correttive qualora la radioattività superi i 100 Becquerel al litro (Bq/l). In Italia, il Consiglio Superiore di Sanità ha stabilito lo stesso limite per le acque minerali, mentre quello per le acque destinate a lattanti e bambini è di 32 Bq/l.

Questa unità di misura esprime la concentrazione di radon in un liquido ed equivale al numero di decadimenti radioattivi che si verificano in un secondo in un litro. Per l'aria, si usa invece il Becquerel al metro cubo (Bq/m³), che permette di valutare in buona approssimazione anche la presenza degli elementi figli. Per eseguire le misurazioni negli ambienti indoor basta una scatolina contenente un rettangolino di un materiale plastico chiamato CR-39, sensibile alle tracce lasciate dalle radiazioni. A dispetto della semplicità dello strumento, tuttavia, la valutazione dell'inquinamento di un edificio è resa complicata dal fatto che i livelli di radioattività variano moltissimo durante l'anno, e anche nell'arco

Aria da morire

di una stessa giornata. Il radon, infatti, penetra nelle case perché è letteralmente risucchiato dalla pressione inferiore presente negli ambienti interni rispetto all'esterno. Questa differenza è legata principalmente al fatto che l'aria indoor è generalmente più calda di quella esterna, e il fenomeno è ovviamente molto maggiore in inverno, quando si tengono i riscaldamenti accesi. Inoltre, in estate le finestre restano più spesso aperte, e questo favorisce la fuoriuscita dei gas radioattivi e il ricambio dell'aria. Per questi motivi, gli strumenti di misura devono essere lasciati nelle abitazioni per diversi mesi se si vuole ottenere una stima veritiera della radioattività cui sono esposti gli occupanti dell'edificio. Le autorità internazionali raccomandano di protrarre la misura per almeno un anno e, in effetti, in Italia e in altri Paesi che hanno fornito negli anni mappature attendibili della loro situazione sul territorio, gli strumenti permangono per due periodi di sei mesi ciascuno, oppure per 12 mesi consecutivi.

Stando ai dati del Comitato sugli effetti delle radiazioni atomiche delle Nazioni Unite (UNSCEAR), il radon è la principale fonte di radioattività naturale alla quale è esposta la popolazione in tutto il mondo ed è responsabile di circa la metà della dose di radiazioni che, in media, assorbiamo ogni anno. La tabella 1 è tratta dal rapporto del 2010, e riporta i valori in milliSievert. Questa unità di misura valuta gli effetti sull'organismo delle radiazioni ionizzanti, quelle cioè che – a differenza delle non ionizzanti – hanno un'energia sufficiente a rompere i legami chimici delle molecole, determinando sul DNA le mutazioni che sono alla base dei tumori. Esistono tre tipi di radiazioni ionizzanti: alfa, beta e gamma (l'ordine è quello della loro pericolosità). Il decadimento del radon e dei suoi figli emette radiazioni di tipo alfa e beta.

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

Tabella 1: *Dosi annuali medie ed esposizioni individuali alle radiazioni ionizzanti (in milliSievert, mSv)*

Fonte	Dose annuale media*	Esposizione	Commenti
Sorgenti naturali			
Radon	1,26	0,2-10	La dose varia molto nelle diverse regioni geografiche
Altre sorgenti terrestri	0,48	0,3-1	
Cibo/acqua	0,29	0,2-1	
Raggi cosmici	0,39	0,3-1	La dose cresce con l'altitudine
Totale	2,4	1-13	Alcune popolazioni ricevono tipicamente 10-20 mSv
Sorgenti artificiali			
Diagnostica medica**	0,6	0-diverse decine	Nei diversi sistemi sanitari la dose media varia da 0,03 a 2,0 mSv; in alcuni Paesi è superiore a quella ricevuta dalle sorgenti naturali
Test atomici militari	0,005	Dosi ancora elevate in prossimità dei siti dei test	La media è scesa dal picco di 0,22 mSv del 1963

Aria da morire

Fonte	Dose annuale media*	Esposizione	Commenti
Sorgenti artificiali			
Esposizione occupazionale	0,005	0-20	La dose media per i lavoratori è 0,7 mSv. Chi lavora nelle miniere riceve dosi più elevate (per via del radon).
Incidente di Chernobyl	0,002	Nel 1986 la dose media ricevuta dai 300.000 uomini impegnati nell'emergenza fu di 150 mSv; altre 350.000 persone ricevettero dosi maggiori di 10 mSv	Nell'emisfero Nord, la dose è scesa rispetto al massimo di 0,04 mSv registrato nel 1986
Centrali nucleari (esposizione della popolazione)	0,0002	Per alcune centrali, le dosi raggiungono 0,02 mSv entro 1 Km	
Totali	0,6	~0-diverse decine	La dose individuale dipende principalmente da: esami medici, esposizione occupazionale e vicinanza ai siti dei test militari

**I valori si riferiscono alle medie su tutta la popolazione mondiale, che comprende sia chi è esposto al tipo di sorgente specificato, sia chi non è esposto. Per questo*

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

motivo, per esempio, l'esposizione occupazionale risulta in media molto bassa ma, come specificato nel commento del rapporto, raggiunge valori più elevati nei lavoratori impegnati nei settori a rischio (minatori, addetti alle centrali nucleari, persone che lavorano sottoterra, per esempio nei tunnel delle metropolitane).

*** Dal punto di vista concettuale, non sarebbe corretto paragonare le dosi ricevute da sorgenti alle quali la popolazione è esposta in modo involontario con quelle che derivano dagli esami medici. Infatti, le prime non portano nessun vantaggio, mentre per le seconde il rapporto fra costi e benefici è tenuto in considerazione al momento della prescrizione. Così, pur senza dimenticare che la prescrizione di esami inutili espone a radiazioni senza portare vantaggi, sono i cittadini dei Paesi che hanno i servizi sanitari più avanzati a ricevere le dosi maggiori di radiazioni per ragioni mediche.*

Gli studi sui quali oggi si valuta la pericolosità del radon sono stati prodotti a partire dagli anni Ottanta, e i dati sono stati subito così netti che già nel 1988 l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro di Lione (IARC) ha inserito questo gas fra i cancerogeni del gruppo 1, che comprende le sostanze sulla cui pericolosità gli studi sono convincenti e concordi. Le cifre del rischio tuttavia sono state precise nei due decenni successivi, grazie a nuove indagini epidemiologiche condotte ancora una volta sui minatori, ma anche sulla popolazione generale in Europa, Stati Uniti e Cina. Fra gli studi del primo tipo vanno ricordati l'analisi del Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) americano, che ha incluso 11 ricerche precedenti per un totale di circa 60.000 lavoratori, e l'indagine imponente condotta nell'ex Germania dell'Est su 59.000 ex minatori della Wismut Company, società che opera sulle stesse montagne che videro sorgere i primi sospetti sulla cancerogenicità del radon. Le due analisi, pubblicate rispettivamente nel 1999 e nel 2006, hanno fornito risultati simili, indicando un aumento del rischio di tumore al polmone maggiore nelle persone giovani, e una chiara relazione dose-risposta, in virtù della quale le probabilità di ammalarsi aumentano in proporzione alla dose di radioattività cui si è stati esposti negli anni di lavoro in miniera. L'analisi

Aria da morire

del BEIR, poi, ha anche mostrato per la prima volta e in modo molto netto un incremento notevolissimo delle probabilità di ammalarsi fra i fumatori; purtroppo l'abitudine al fumo non è stata invece valutata dai tedeschi, sebbene un riesame di parte dei dati abbia indicato una tendenza simile anche fra i minatori della ex Germania dell'Est.

Le particolari condizioni di lavoro dei soggetti studiati, unite alla presenza di altre sostanze cancerogene nei tunnel sotterranei, non hanno tuttavia permesso di estrapolare le conclusioni di queste indagini alla popolazione esposta all'inquinamento indoor. E tuttavia, all'inizio degli anni Novanta, il sospetto che anche alle concentrazioni presenti in casa il radon potesse determinare tumori polmonari emergeva già da diverse ricerche, che avevano però una potenza statistica ridotta perché condotte su un numero troppo ridotto di individui. Tirare le somme era poi difficile anche perché gli studi sull'inquinamento radioattivo delle abitazioni avevano usato metodi diversi (per esempio, nella stima dell'esposizione ai gas), e alcuni non avevano tenuto nel dovuto conto l'abitudine al fumo di sigaretta che, come si è visto, moltiplica il rischio e complica non poco il calcolo del contributo specifico del radon. Occorreva dunque mettere ordine fra i dati.

Il killer delle miniere uccide anche in casa

Le tre pubblicazioni che hanno permesso una valutazione più precisa della situazione sono tutte frutto di un riesame dei dati raccolti da studi precedenti, condotti in Europa, Stati Uniti e Cina, e hanno dato risultati molto simili. La ricerca europea, uscita a gennaio 2005 sulla rivista specializzata «British Medical Journal», è però senz'altro la più importante e ha visto la partecipazione fra gli altri di Richard Doll, l'epidemiologo più noto e influente della storia della medicina, che negli anni Cin-

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

quanta aveva individuato per primo la relazione fra il fumo di tabacco e il tumore del polmone, e che morì appena pochi mesi dopo l'uscita del lavoro sul radon. L'analisi statistica ha incluso 13 studi, che avevano coinvolto in tutto oltre 21.000 persone (7.148 casi di tumore e 14.000 individui sani), la cui esposizione all'agente sospetto era stata valutata per periodi variabili fra i 5 e i 35 anni. I risultati indicano inequivocabilmente che il radon è legato al tumore polmonare: per ogni aumento di 100 Bq/m³ della radioattività in casa, il rischio di ammalarsi sale del 16%, senza differenze importanti fra uomini e donne, o per classi d'età. Come per i minatori, anche qui l'effetto è molto più marcato nei fumatori: a 75 anni, una persona che non ha mai acceso una sigaretta ha lo 0,67 % di probabilità di ammalarsi, anche se è stato esposto per 30 anni a una concentrazione di radon rilevante (800 Bq/m³); a parità di esposizione, un anziano della stessa età che fuma 15-20 sigarette al giorno ha una probabilità di ammalarsi del 21,6 %. Gli esperti attribuiscono la sinergia fra fumo e radon al fatto che entrambi gli agenti provocano mutazioni del Dna, colpendo in buona sostanza le stesse cellule: quando i danni genetici si accumulano, i sistemi che dovrebbero ripararli, sovraccarichi di lavoro, non riescono più a intervenire in tutti i punti che ne avrebbero necessità. La probabilità che non vengano riparate mutazioni capaci di innescare la proliferazione tumorale aumenta perciò moltissimo: è l'inizio della malattia.

L'altro risultato rilevante dello studio europeo del 2005 è stata la mancata individuazione di una soglia minima al di sotto della quale non si registra alcun effetto. Questo dato, confermato anche da altre ricerche, significa che poiché le persone esposte a livelli elevati di radioattività in casa sono in realtà molto poche, la grande maggioranza dei tumori polmonari si verifica in soggetti esposti per lunghi periodi a concentrazioni di radon modeste. Considerato che la media che si registra nelle case degli europei è di 59 Bq/m³, quindi, gli autori dell'indagine hanno stimato

Aria da morire

che il 9% dei decessi per cancro al polmone che si contano nel vecchio continente sia dovuto all'esposizione al radon (il dato equivale al 2% delle morti per tutti i tumori). Si tratta, in tutto, di 30.000 morti all'anno. La loro distribuzione è però tutt'altro che uniforme. Dipende, infatti, dalla radioattività media registrata nei singoli Stati – che è abbastanza variabile – e da una serie di condizioni a contorno, come la densità della popolazione nelle aree a maggior inquinamento, le tecniche di costruzione degli edifici, le condizioni meteo-climatiche e altro ancora. Su scala globale, l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che una quota variabile fra il 3 e il 14% dei tumori polmonari sia legata al radon.

L'Italia, con livelli di radioattività superiori alla media mondiale, si colloca purtroppo nella parte meno favorevole della graduatoria: da noi, circa il 10% dei decessi dovuti a questa malattia è connessa alla radioattività indoor. Sono 3000 morti ogni anno: una cifra superiore alla somma fra i morti per infortuni sul lavoro e le vittime di omicidio.

Gli epidemiologi giudicano ormai sufficienti i dati che la ricerca scientifica ha reso disponibili e – note le cifre del rischio – invitano dunque le autorità a passare all'azione, mettendo in campo interventi efficaci nel ridurre il numero di morti. Prima di affrontare l'aspetto normativo, bisogna però considerare le mappe della concentrazione del radon, in base alle quali le leggi sono stabilite.

I rapporti redatti dall'UNSCEAR censiscono periodicamente gli studi che, in tutto il mondo, valutano l'esposizione della popolazione alla radioattività. Altri dati sono poi stati raccolti nell'ambito di un'indagine svolta nei Paesi OCSE e in altri studi. La tabella 2 riassume i risultati principali.

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

Tabella 2: *Livelli medi di radioattività indoor in diversi Paesi del mondo*

Paese	Radioattività (Bq/m³)
Australia	11
Austria	99
Belgio	48
Brasile	82
Canada	28
Cina	44
Corea del Sud	53
Danimarca	59
Finlandia	120
Francia	89
Germania	49
Giappone	16
Grecia	55
Islanda	10
Iran	82
Irlanda	89
Italia	70
Giappone	16
Gran Bretagna	21
Lussemburgo	110
Messico	140
Olanda	23
Nuova Zelanda	22
Norvegia	89
Polonia	49
Portogallo	62
Repubblica Ceca	140
Regno Unito	21
Slovacchia	87
Spagna	90
Svezia	108
Svizzera	78
Ungheria	82
Usa	46
Media mondiale	39

Aria da morire

I valori indicati per ogni caso rappresentano una media delle rilevazioni effettuate nel Paese di riferimento; tuttavia, la situazione è spesso molto diversificata sul territorio anche all'interno di un singolo Stato. In Spagna, al confine col Portogallo, ci sono per esempio aree in cui la concentrazione media di radon all'interno degli edifici supera gli 800 Bq/m³, con punte, nelle singole abitazioni, di diverse migliaia di Becquerel. A Ramsar, un paese di 1800 abitanti sulla sponda iraniana del Mar Caspio, si arriva addirittura a un valore medio di 2745 Bq/m³, per la presenza in zona di sorgenti di acqua fortemente radioattiva. Il caso di Ramsar, che conta non poche abitazioni con livelli di radioattività oltre i 10.000 Bq/m³, è per gli scienziati un vero e proprio enigma: infatti, non si registra qui un'incidenza particolarmente elevata di tumori né di altre malattie. La spiegazione più plausibile è che l'incremento dei casi, pur presente, non possa essere rilevato su una popolazione così piccola. La giustificazione statistica però non soddisfa tutti, e sul caso iraniano si continua pertanto a indagare.

E in Italia che rischio corriamo?

La mappa del rischio in Italia è stata elaborata grazie a una serie di rilevamenti condotti fra il 1989 e il 1998 in tutte le 21 regioni, nell'ambito di un progetto congiunto dell'Istituto Superiore di Sanità e dell'ANPA (oggi ISPRA). Le misurazioni, protratte per due periodi consecutivi di sei mesi ciascuno, sono state eseguite in quasi 6000 appartamenti, in tutte le 50 città con più di 100.000 abitanti e in altre 182 cittadine o paesi sparsi su tutto il territorio nazionale. I risultati sono mostrati nella tabella 3.

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

Tabella 3: *Mappa del rischio radon in Italia*

Regione	Radioattività (Bq/m ³)	Appartamenti con più di 200 Bq/m ³ *	Appartamenti con più di 400 Bq/m ³
Piemonte	69	2,1%	0,7%
Valle d'Aosta	44	0,0%	0,0%
Lombardia	111	8,4%	2,2%
Alto Adige	70	5,7%	0,0%
Trentino	49	1,3%	0,0%
Veneto	58	1,9%	0,3%
Friuli Venezia Giulia	99	9,6%	4,8%
Liguria	38	0,5%	0,0%
Emilia Romagna	44	0,8%	0,0%
Toscana	48	1,2%	0,0%
Umbria	58	1,4%	0,0%
Marche	29	0,4%	0,0%
Lazio	119	12,2%	3,4%
Abruzzo	60	4,9%	0,0%
Molise	43	0,0%	0,0%
Campania	95	6,2%	0,3%
Puglia	52	1,6%	0,0%
Basilicata	30	0,0%	0,0%
Calabria	25	0,6%	0,0%
Sicilia	35	0,0%	0,0%
Sardegna	64	2,4%	0,0%
Media nazionale	70	4,1%	0,9%

* La percentuale di abitazioni che hanno una radioattività superiore ai 200 e ai 400 Bq/m³ è piuttosto variabile. In mancanza di una legge nazionale, questi due valori erano stati scelti dall'Istituto Superiore di Sanità perché sono quelli che la direttiva europea del 1990 raccomandava di osservare, rispettivamente per gli edifici di nuova costruzione e per quelli già esistenti.

Dopo la campagna nazionale, alcune regioni hanno avviato piani di monitoraggio per conoscere più in dettaglio la loro si-

Aria da morire

tuazione territoriale, così da poter eventualmente programmare piani di bonifica mirati sulle aree a maggior rischio, con un rapporto favorevole fra costi e benefici. Sono: la Valle D'Aosta, il Piemonte (non su tutto il territorio), la Lombardia, il Trentino Alto Adige, il Friuli Venezia Giulia, l'Emilia Romagna, la Toscana (unica ad aver mappato anche i luoghi di lavoro), l'Umbria, il Lazio e l'Abruzzo. Alcune amministrazioni hanno poi eseguito misure anche nelle scuole (Veneto, Friuli, Trentino Alto Adige, alcune aree della Lombardia, Toscana, Umbria, Abruzzo, Puglia, Sardegna). In varie regioni, anno dopo anno, sono inoltre stati avviati piani radon che prevedono anche interventi di bonifica e prevenzione, di cui parleremo più avanti. Ma la gestione dell'intera materia sul territorio nazionale non è ancora uniforme, anche perché – come vedremo – il Piano nazionale, che ha fra gli obiettivi anche quello di coordinare le iniziative locali, non ha ricevuto un finanziamento adeguato.

Come c'era da aspettarsi, la concentrazione di radon mostra differenze piuttosto importanti da una regione all'altra e anche all'interno di una stessa regione. Le aree più critiche sono senz'altro il Lazio (specie nella provincia di Viterbo, per via della natura vulcanica del suolo) e la Lombardia, ma la percentuale di edifici con livelli di radioattività elevati è persino maggiore nel Friuli Venezia Giulia, dove le grotte e le cavità sotterranee del Carso intrappolano i gas radioattivi, che qui possono raggiungere concentrazioni molto elevate. Complessivamente, il Meridione risulta invece meno colpito. Nonostante la generale sottovalutazione del problema, alcune situazioni particolarmente critiche hanno guadagnato, negli anni passati, l'attenzione della stampa locale. È il caso della ex base aeronautica di Monte Venda, sui colli Euganei (Padova), dove al radon sono state ricondotte le morti per tumore al polmone di almeno una trentina di ex militari. Il caso ha fatto scalpore soprattutto per il ritardo con cui si è intervenuti a porre rimedio alla situazione, eseguendo i primi rilievi ufficiali

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

solo nel 2006, dopo che si erano verificati già molti casi sospetti, e chiudendo infine la base. Altre caserme con livelli allarmanti sono invece ancora operative, come quella del Monterado, a nord di Viterbo, al cui interno è stata rilevata una radioattività di 21.000 Bq/m³. Per fare un confronto, nella base militare statunitense di Aviano, distante dal Venda circa 150 chilometri e dove pure i livelli di radon sono elevati, gli statunitensi avevano avviato piani di misurazione e bonifica già dal 1988 e oggi i livelli di radioattività negli edifici sono del tutto accettabili.

Stupisce poi, in Italia, la difficoltà che singoli cittadini incontrano quando desiderano accedere alle informazioni che riguardano il territorio in cui abitano, e che sarebbero invece molto utili a chi volesse eseguire verifiche in casa sua, per provvedere poi a un'eventuale bonifica. Non tutte le Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente (ARPA), infatti, rendono disponibili i risultati dei monitoraggi. Recentemente un'inchiesta televisiva del programma *Il Lecito*, trasmesso su La7, è riuscita a ottenere i dati e li ha resi pubblici sul suo sito (<http://x2.tv/program/la7/radon/>). E se alcune sono restie a farlo perché hanno eseguito poche misurazioni, la reticenza deriva certamente anche da una cattiva politica di comunicazione del rischio. Si teme, infatti, che diffondere i dati possa creare allarmismo – ma gli studi sulla percezione del rischio dicono che la preoccupazione dei cittadini aumenta quando le informazioni sono invece tenute nascoste. Oppure, si ritiene che i non esperti non siano in grado di dare il giusto significato ai numeri, eventualità questa che potrebbe essere facilmente evitata con una campagna di informazione opportuna. Il punto centrale da chiarire, nell'informare i cittadini, è che la concentrazione media di radon in una zona non indica la concentrazione del gas nelle singole case: al di là della media registrata nella regione o anche nella città in cui si abita, la situazione varia infatti moltissimo da un edificio all'altro, perché dipende dal grado di isolamento della struttura, dal piano al quale

Aria da morire

si abita, dalla presenza o meno di un vespaio, dalle abitudini degli occupanti (per esempio, se aprono spesso le finestre oppure no) e così via. Ancora di più, la radioattività indoor può risentire moltissimo dei materiali impiegati nella costruzione del palazzo o nella rifinitura degli interni, dato che alcuni prodotti per l'edilizia emettono gas radioattivi. Di norma, il loro contributo al livello medio regionale è piuttosto modesto – compreso fra il 15 e il 20%, secondo l'UNSCEAR – mentre il suolo resta la principale fonte di contaminazione. Alcuni edifici possono tuttavia discostarsi molto da quelle percentuali, perché costruiti con materiali a elevato contenuto di radon, come il tufo (diffuso nell'Italia del Centro e del Sud), le lave e le pozzolane, il granito, il gesso, o il calcestruzzo con una elevata percentuale di scisto di allume, che è stato bandito in Svezia proprio per via degli elevati livelli di radioattività. Non esiste, in Italia, una mappatura sistematica dell'uso di questi materiali. È invece certo che il solo modo per ottenere una efficace riduzione di questo tipo di contaminazione è seguire l'esempio della Svezia e metterli fuorilegge. Intervenire dove i materiali radioattivi sono già presenti, invece, può essere del tutto inutile, oppure molto difficile. Infatti, un muretto di tufo posto in un giardino, o un piccolo rivestimento interno in granito, possono essere rimossi facilmente, ma rifiniture di questo tipo non rappresentano una fonte importante di radiazioni. Al contrario, quando a essere costruiti con materiali a rischio sono gli elementi strutturali di un edificio, le radiazioni alle quali i suoi occupanti sono esposti sono certamente maggiori, ma per porre rimedio bisognerebbe demolire il palazzo.

Come combattere il radon in casa: prevenire e bonificare

Dal punto di vista tecnico, è molto più semplice bonificare una casa dal radon che penetra dal sottosuolo. Alcuni Paesi (per

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

esempio gli Stati Uniti e la Repubblica Ceca) prevedono che controlli dei livelli di radioattività siano sempre eseguiti quando si effettuano delle compravendite di immobili, così che i nuovi inquilini possano includere nelle eventuali ristrutturazioni anche interventi atti a ridurre la concentrazione del radon. È infatti del tutto evidente che sono questi i momenti migliori per eseguire le bonifiche, che risultano invece molto più difficoltose quando gli occupanti abitano già stabilmente in casa.

Eliminare completamente i gas radioattivi dagli ambienti non è possibile, perché occorrerebbe costruire una struttura a tenuta stagna, ma le bonifiche permettono di ridurre la loro concentrazione in modo consistente: le stime dei tecnici dicono che da un livello superiore ai 400 Bq/m³ si può scendere abbastanza agevolmente sotto i 100, e da alcune migliaia di Becquerel si può calare a 2-300. Un primo intervento, dal costo abbastanza contenuto, consiste nel bloccare le vie di ingresso del radon, sigillando – con materiali al silicone, malte di cemento, membrane impermeabili o anche carte da parati – le crepe eventuali presenti su pavimento e pareti verticali, e i fori e le fessure per il passaggio degli impianti (per esempio, quelle da cui passano i fili elettrici, le tubature di gas e acqua e così via). Tuttavia, questa misura è di per sé poco utile se non accompagnata da altri provvedimenti. Fra quelli consigliati c'è la ventilazione del vespaio, lo spazio che isola il pavimento dal terreno, e che tuttavia non è presente in tutti gli edifici. Le azioni di gran lunga più efficaci sono però quelle che permettono di invertire il gradiente di pressione fra l'esterno e l'interno dell'edificio, che, come si è visto, è il principale responsabile della penetrazione del radon. Questo intervento consente di spingere fuori i gas radioattivi. I sistemi che permettono di ridurre la pressione dei gas presenti nel sottosuolo, e di convogliarli fuori dalla casa, sono costituiti da pozzetti, profondi anche un paio di metri e scavati sotto le fondamenta, collegati a tubi che percorrono dal basso verso l'alto

Aria da morire

l’edificio. I tubi possono correre internamente o esternamente alle mura (questa seconda soluzione permette di non disperdere negli ambienti i gas che fuoriescono da eventuali perdite) e l’intero sistema può essere reso ancora più efficiente con l’installazione di un ventilatore nella parte terminale del tubo. Altri ventilatori posizionati in punti strategici, che convogliano all’interno l’aria esterna, possono poi contribuire ad aumentare la pressione in casa, ostacolando l’ingresso del radon.

Bonificare un edificio costa da poche centinaia a qualche migliaio di euro, a seconda delle sue dimensioni e delle azioni necessarie. È invece meno dispendioso, oltre che più efficace, installare i sistemi antiradon nelle case di nuova costruzione: l’ordine di grandezza, per grandi edifici, è di un euro al metro quadro. Questo è il motivo per cui, nelle normative sulla radioattività indoor, così come nelle analisi fra costi e benefici, bonifiche e piani di prevenzione sono sempre considerati separatamente. Una valutazione approfondita della convenienza dei due tipi di intervento è stata pubblicata nel 2009, sul «British Medical Journal», da un gruppo di epidemiologi ed economisti dell’Università inglese di Oxford. Sebbene lo studio si sia basato sulla situazione del Regno Unito – dove il radon uccide 1100 persone all’anno, e il livello medio di radioattività è di appena 21 Bq/m³ – «le conclusioni possono essere applicate anche agli altri Paesi occidentali, in cui la concentrazione media di radon è maggiore», hanno precisato gli autori.

I calcoli mostrano che le azioni di prevenzione sulle case di nuova costruzione sono sempre convenienti, anche in aree a basso rischio, e che l’efficacia tende a salire via via che la radioattività media del territorio è maggiore (infatti aumentano i costi ma aumenta anche il numero di tumori al polmone evitati). I piani di bonifica sugli edifici già esistenti, invece, risultano vantaggiosi solo quando la concentrazione media di radon è già abbastanza elevata, ma vanno comunque mirati sulle abitazioni che hanno

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

livelli elevati, dopo aver eseguito le opportune misurazioni. In Gran Bretagna, stima il rapporto, iniziano a diventare efficaci nelle case in cui si superano i 100 Bq/m³ e che, al contempo, si trovano in territori nei quali i livelli medi siano pari ad almeno 60 Bq/m³. Anche in questo caso, l'efficacia aumenta via via che questo valore sale, ma i valori individuati non possono immediatamente essere estrapolati a tutti i Paesi. Bisogna infatti tenere conto delle caratteristiche delle case del luogo, della densità abitativa, delle abitudini della popolazione e anche delle disponibilità economiche della nazione. La stessa Organizzazione Mondiale della Sanità, che pure indica come limite ideale per gli ambienti abitativi i 100 Bq/m³, ammette che qualora il raggiungimento di questo obiettivo risultasse troppo oneroso si può prendere come riferimento la soglia di 300 Bq/m³, ferma però restando la necessità di intervenire sempre con bonifiche nelle case che presentano livelli di radioattività particolarmente elevati.

Il Piano italiano anti-radon

Questa e le altre raccomandazioni dell'OMS sono state messe nero bianco nel 2009, nel rapporto conclusivo dell'International Radon Project, un programma che, iniziato nel 2005, ha coinvolto gli esperti di una trentina di Paesi con l'obiettivo di fornire alle autorità nazionali linee guida per una gestione efficace del problema radon. Quasi a sottolineare la complessità della materia e la forte variabilità dei parametri sui quali le norme andrebbero stabilite, la strategia indicata dall'organizzazione vede come punto centrale la creazione, in ciascuno Stato, di un piano nazionale che permetta di valutare con molta accuratezza la situazione sul territorio e di attuare quindi interventi mirati e coordinati. Per il nostro Paese, all'International Radon Project ha partecipato Francesco Bochicchio, coordinatore del Piano radon italiano e

Aria da morire

autore di decine di pubblicazioni scientifiche. Sebbene il nostro ricercatore sia uno dei massimi esperti al mondo in questo settore, la storia del programma italiano è un esempio molto poco edificante di come le questioni legate all'inquinamento e alla prevenzione sono considerate dai nostri politici.

Ideato nel 2002, con un costo stimato di 12,5 milioni di euro per sei anni, il piano nazionale aveva obiettivi molto ambiziosi, necessari per ottenere un effetto importante sulla mortalità. I principali risultati attesi erano: un monitoraggio capillare del territorio volto a ottenere una mappa più dettagliata di quella allora disponibile; la bonifica di tutti gli edifici in cui l'inquinamento risultava molto alto; l'individuazione di regole uniformi per installare sistemi antiradon negli edifici di nuova costruzione; la creazione di strutture territoriali con personale specializzato capaci di proseguire il monitoraggio e di eseguire le bonifiche a costi contenuti. Per raggiungere questi risultati, si prevedevano azioni di coordinamento fra le regioni, campagne di bonifica e prevenzione, studi epidemiologici, collaborazioni internazionali, corsi di formazione per gli operatori che avrebbero poi dovuto agire localmente, la mappatura delle scuole e dei luoghi di lavoro, campagne di sensibilizzazione e altro ancora.

Per avere i fondi necessari, nel 2002, il Ministero della Salute si rivolse a quello dell'Economia, gestito allora da Giulio Tremonti, che però neppure rispose (sebbene l'ex ministro provenga da una delle regioni dove l'inquinamento da radon è maggiore). Nel 2005 – tre anni, e novemila morti dopo – si trovarono comunque 800.000 euro e il piano poté perlomeno partire. Un secondo finanziamento è arrivato a febbraio del 2012: 250.000 euro, sufficienti a malapena a pagare gli stipendi. In tutto, insomma, il progetto ha ricevuto meno del 10% di quanto aveva chiesto.

Di azioni, in questi anni, i ricercatori del piano radon ne hanno in realtà fatte moltissime: è stata eseguita la mappatura più precisa del territorio (e i risultati sono attesi a breve); sono state emanate

Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

indicazioni per la costruzione di edifici antiradon; si sono fatte proposte normative. Ancora una volta, dunque, l'inventiva dei ricercatori italiani ha permesso di fare quasi le nozze coi fichi secchi. Quasi. All'appello mancano per esempio le azioni di bonifica e prevenzione – che dal punto di vista temporale devono necessariamente venire dopo gli altri interventi – e che sono presenti qua e là in Italia, grazie a piani regionali, ma senza un coordinamento centrale. Questo è il motivo principale per cui, dal 2002 a oggi, la mortalità da radon in Italia non è diminuita.

Né è andata meglio sul fronte legislativo. A più di 20 anni di distanza dalla prima mappatura completa del territorio, la legge nazionale sull'inquinamento da radon nelle case è ancora inesistente, ed è molto probabile che a dettare le norme nel Belpaese sarà la nuova direttiva europea, attualmente in discussione, che saremo obbligati a recepire entro tre anni dalla sua approvazione. Al momento in cui si scrive, la direttiva prevede che ogni Paese si doti di un Piano nazionale radon e, soprattutto, che lo finanzi e lo metta in pratica. I valori la cui adozione sembra più probabile sono invece di 200 e 300 Bq/m³, da rispettare rispettivamente per le nuove abitazioni e per quelle già esistenti. In Italia esiste comunque una normativa relativa ai luoghi di lavoro, che si rifà a un decreto legislativo del 2000, e che fissa il limite massimo di radon consentito a 500 Bq/m³, superato il quale scatta l'obbligo di intervenire per bonificare gli ambienti e ridurre il rischio. Sulla radioattività nelle abitazioni, alcune regioni hanno invece provveduto da sé: la prima a farlo è stata il Veneto, che ha emanato nel 2002 una delibera in cui indicava in 200 Bq/m³ il valore al di sopra del quale è consigliata la bonifica.

A livello internazionale ci sono invece esempi virtuosi. La Gran Bretagna e la Repubblica Ceca, per esempio, hanno un sistema di gestione complessivo del problema radon estremamente efficace, che prevede un forte coordinamento degli enti preposti al monitoraggio e al controllo sul territorio, campagne

Aria da morire

di sensibilizzazione, programmi di formazione per gli operatori, programmi di protezione estesi anche ai luoghi pubblici. Dal punto di vista delle concentrazioni di radon indoor, poi, l'evoluzione delle raccomandazioni degli organismi sovranazionali, così come quella di alcune legislazioni nazionali, ha seguito spesso molto da vicino il progredire della ricerca scientifica. Così, mentre negli anni Novanta ci si era basati sui risultati ottenuti sui minatori, i limiti più recenti, molto più stringenti, sono stati stabiliti tenendo nella dovuta considerazione le conclusioni delle analisi eseguite sulla popolazione generale, e in particolare quelle delle tre revisioni europea, statunitense e cinese, pubblicate attorno alla metà degli anni Duemila. Per esempio, se nel 1993 la International Commission on Radiological Protection (ICRP), autorevole organismo internazionale indipendente, consigliava ai legislatori di stabilire un limite per le bonifiche non superiore ai 600 Bq/m³ nelle abitazioni, nel 2009 quel valore è stato abbassato a 300 Bq/m³. La stessa OMS, che come si è visto consiglia ora 100 Bq/m³, aveva stabilito, nel 2001, una soglia circa due volte e mezzo più elevata.

I governi più pronti ad accogliere le nuove indicazioni sono stati quelli dei Paesi dell'Europa del Nord (Svezia, Norvegia, Danimarca, Finlandia e Islanda), che peraltro avevano scelto limiti molto cautelativi anche prima che emergessero i rischi legati all'esposizione a livelli bassi di radon nelle abitazioni. Nel 2000, questi Paesi avevano stabilito di attuare semplici misure di contenimento del rischio per livelli di radon superiori ai 200 Bq/m³, e di eseguire invece bonifiche più importanti laddove si oltrepassava la soglia di 400 Bq/m³; nel 2009 gli stessi Paesi hanno recepito il valore di 100 Bq/m³. L'Italia, ferma da oltre un decennio, ha molto terreno da recuperare.



COME PROTEGgersi

Il sito del Piano nazionale radon (<http://www.iss.it/tesa/prog/cont.php?id=182&tipo=14&lang=1>) contiene le informazioni più aggiornate in italiano e i link a siti stranieri che indicano come proteggere se stessi e ridurre le concentrazioni di radon nelle abitazioni già esistenti e in quelle di nuova costruzione.

Per ridurre il rischio personale: **1)** Smettere di fumare è la misura più efficace per ridurre il rischio da radon, considerato l'effetto sinergico che due fattori di rischio; **2)** A tavola, carote, pomodori e l'uso esclusivo dell'olio di oliva ha un effetto protettivo. Alcuni studi suggeriscono che la vitamina C, i carotenoidi e gli altri antiossidanti contenuti in questi alimenti siano in grado di limitare i danni delle radiazioni di tipo alfa, quelle emesse in misura maggiore dal radon e dai prodotti del suo decadimento; **3)** Se si intende eseguire una misurazione del radon nella propria abitazione ci si può rivolgere per avere informazioni all'ARPA o alla ASL del proprio territorio. Inoltre si può contattare l'ENEA di Bologna (<http://www.bologna.enea.it/attivita/labmonit.html>), che per 25 euro invia per posta dosimetro da tenere in casa per sei mesi o un anno. Al termine del periodo lo strumento deve essere rispedito all'ENEA, che fornirà poi il dato sulla radioattività; **4)** Per gli interventi di bonifica ci si deve rivolgere a ditte specializzate. Gli interventi non sono rimborsabili.

Per limitare la concentrazione di radon in casa: **1)** Aprire le finestre di casa almeno due o tre volte al giorno, partendo dai piani seminterrati e procedendo via via verso i piani superiori; **2)** Quando si chiudono le finestre, iniziare da quelle dei piani superiori; **3)** Chiudere le canne fumarie dei camini quando non vengono utilizzati; **4)** Quando si arriva in una casa che è rimasta chiusa a lungo, aprire subito le finestre e lasciare arieggiare i locali.

Se la concentrazione di radon risulta elevata, è consigliabile un piano di bonifica. ■

BIBLIOGRAFIA

1. Il mondo intossicato

- Bell M.L., Davis D.L., Fletcher T.: *A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution*, «Environmental Health Perspectives», 112 (1): 6–8 (2004).
- van Donkelaar A., Martin R.V., Brauer M., Kahn R., Levy R., Verdusco C., Villeneuve P.J.: *Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application*, «Environmental Health Perspectives», 118(6):847-55 (2010).
- Hasenkopf Christa: *Clearing the air*, «World Policy Journal», primavera 2012.
- Mosley Stephen: *Environmental history of air pollution and protection*. In *World environmental history*, [Eds. Mauro Agnoletti, Elizabeth Johann e Simone Neri Serneri], in *Enciclopedia of life support system* (ELOSS), UNESCO (2012).

2. I killer dell'aria

- European Environmental Agency: *Air Quality in Europe. 2012 report*.
ISPRA: *Qualità dell'ambiente urbano. VIII Rapporto* (2012).
- European Environmental Agency: *Air pollution by ozone across Europe during summer 2011*, (2012).
- Cristina Guerreiro, Jan Horálek, Frank de Leeuw, Claudia Hak, Christian Nagl, Pavel Kurfürst e Jana Ostatnická: *Status and trends of NO₂ ambient concentrations in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC), 2010.
- Rizzo Roberto: *Salvare il mondo senza essere Superman*, Einaudi, Torino 2005.
- World Health Organization: *Air quality guidelines. Global update 2005*.

Bibliografia

3. Le malattie dello smog

- Amann M., Cabala R., Cofala J., Heyes C., Klimont Z., Schöpp W., Simpson D., Tarrason L., Wind P., Jonson E.J.: *CAFE Report #2: The «Current legislation» and the «Maximum technically feasible reduction» cases for the CAFE baseline emission projections* (2004).
- Baccini M., Biggeri A., Grillo P., Consonni D., Bertazzi P.A.: *Health impact assessment of fine particle pollution at the regional level*, «American Journal of Epidemiology», 15; 174(12): 1396-405 (2011).
- Baldacci S., Maio S., Viegi G., (Gruppo collaborativo EpiAir): *Inquinamento atmosferico e salute umana*, «Epidemiologia & Prevenzione». Quaderni. 33 (6) suppl 2: 1-72 (2009).
- Benbrahim-Tallaa L., Baan R.A., Grosse Y., Lauby-Secretan B., El Ghissassi F., Bouvard V., Guha N., Loomis D., Straif K., International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group: *Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes*, «Lancet Oncology», 13(7): 663-4 (2012).
- Berti G., Galassi C., Faustini A., Forastiere F., (Gruppo collaborativo EpiAir): *Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione. Studio degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico in 10 città italiane nel periodo 2001-2005*, «Epidemiologia & Prevenzione», 33(6) Suppl 1: 1-144 (2009).
- Brunekreef B., Annesi-Maesano I., Ayres J.G., Forastiere F., Forsberg B., Künzli N., Pekkanen J., Sigsgaard T.: *Ten principles for clean air*, «European Respiratory Journal», 39 (3): 525-8 (2012).
- McCreanor J., Cullinan P., Nieuwenhuijsen M.J., Stewart-Evans J., Mälliarou E., Jarup L., Harrington R., Svartengren M., Han I., Ohman-Strickland P., Fan Chung K., Zhang J.: *Respiratory Effects of Exposure to Diesel Traffic in Persons with Asthma*, «New England Journal of Medicine», 357: 22348-58 (2007).
- Crosignani P.: *Stima degli effetti della riduzione dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana*, «Epidemiologia & Prevenzione», 34 (1-2): 19-22 (2010).
- Franchini M. e Mannucci P.M.: *Thrombogenicity and cardiovascular effects of ambient air pollution*, «Blood», 1; 118(9): 2405-12 (2011).
- Kunzli N., Perez L., Rapp R.: *Qualità dell'aria e salute*, European Respiratory Society (2010).
- Laden F., Schwartz J., Speizer E.F., Dockery D.D.: *Reduction in fine par-*

Bibliografia

- ticulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study*, «American journal of respiratory and critical care medicine», 15; 173(6): 667-72 (2006).
- Pope C.A., Burnett T.R., Thurston D.G., Thun J.M., Calle E.E., Krewski D., Godleski J.: *Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease*, «Circulation», 109: 71-77 (2004).
- World Health Organization: *Air quality guidelines. Global update 2005*.
- World Health Organization: *Health effects of black carbon*. (2012).
- 4. Le buone azioni per un'aria migliore**
- Aphekom collaborative network: *Summary report of the Aphekom project 2008-2011*. (2011)
- Carra L.: *Traffico: cosa può imparare l'Italia dal resto d'Europa*, Scienzainrete.it (2011).
- Commissione Europea: *Libro Bianco: Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti – Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile*. (2011).
- Invernizzi G., Ruprecht A., Mazza R., De Marco C., Mocnik G., Sioutas C., Westerdahl D.: *Measurement of black carbon concentration as an indicator of air quality benefits of traffic restriction policies within the ecopass zone in Milan, Italy*, «Atmospheric Environment», 45: 3522-27 (2011).
- Legambiente: *Rapporto Ecosistema urbano. XIX edizione* (2012).
- Nuvolone D., Barchielli A., Forastiere F., Gruppo collaborativo EpiAir: *Valutare l'efficacia degli interventi sulla mobilità urbana ai fini del miglioramento della qualità dell'aria e della salute dei cittadini: una revisione della letteratura scientifica*, «Epidemiologia & Prevenzione», 33 (3): 79-87 (2009).
- Pope C.A., Ezzati M., Dockery, W.D.: *Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States*, «New England Journal of Medicine», 360: 376-386 (2009).
- «The Economist»: *Seeing the back of the car. In the rich world, people seem to be driving less than they used to* (2012).
- Transport for London: *Central London congestion charging. Impacts monitoring, Sixth annual report*. (2008).

Bibliografia

5. Nemmeno al chiuso si è al sicuro

- Carrer P., Maroni M., Alcini D., Cavallo D., Fustinoni S., Lovato L., Viggiani F.: *Assessment through environmental and biological measurements of total daily exposure to volatile organic compounds of office workers in Milan, Italy*, «Indoor Air», 10 (4): 258-68 (2000).
- Carrer P., Fanetti AC., Forastiere F., Holcatova I., Mølhave L., Sundell J., Viegi G., Simoni M.: *WP1 Technical Report: Health Effects*. EnVie. Coordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects (2008).
- Environmental Protection Agency. *Care for your air: a guide to indoor air quality*. (2008).
- Franchi M., Carrer P., Kotzias D., Rameckers EM., Seppänen O., van Bronswijk JE., Viegi G., Gilder JA., Valovirta E.: *Working towards healthy air in dwellings in Europe*, «Allergy». Jul; 61 (7): 864-8 (2006).
- Goldman SM., Quinlan PJ., Ross GW., Marras C., Meng C., Bhudhikarnok GS., Comyns K., Korell M., Chade AR., Kasten M., Priestley B., Chou KL., Fernandez HH., Cambi F., Langston JW., Tanner CM.: *Solvent Exposures and Parkinson's Disease Risk in Twins*, «Annals of Neurology», 6: 776-84 (2012).
- Istituto Superiore di Sanità. *Convegno nazionale su Inquinamento indoor residenziale-abitazione e qualità dell'aria*. 9 ottobre 2009. Riassunti.
- Kotzias D., Koistinen K., Kephalopoulos S., Schlitt C., Carrer P., Maroni M., Jantunen M., Cochet C., Kirchner S., Lindvall T., McLaughlin J., Mølhave J., de Oliveira Fernandes E., Seifert B.: *The INDEX project. Final report*, (2005).
- Ministero della Salute: *Schema di linee di indirizzo per la prevenzione dei fattori di rischio indoor per allergie e asma* (2010).
- Paxton MB: *Leukemia risk associated with benzene exposure in the plio-film cohort*, «Environmental Health Perspectives», 104 (6): 1431-1436 (2005).
- Settimi G., *La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari*, «Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità», 25 n. 5 – n. 6 maggio e giugno 2012.
- Simoni M., Lombardi E., Berti G., Rusconi F., La Grutta S., Piffer S., Petronio MG., Galassi C., Forastiere F., Viegi G., The SIDRIA-2 Collaborative Group: *Mould/dampness exposure at home is associated with respiratory disorders in Italian children and adolescents: the SIDRIA-2 Study*, «Occupational and Environmental Medicine», 62: 616-622 (2005).

Bibliografia

- Simoni M., Annesi-Maesano I., Sigsgaard T., Norback D., Wieslander G., Nystad W., Canciani M., Sestini P., Viegi G.: *School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children*, «European Respiratory Journal», 35: 742-749 (2010).
- World Health Organization: *WHO Guidelines for indoor air quality. Dampness and mould* (2009).
- World Health Organization: *WHO Guidelines for indoor air quality. Selected Pollutants* (2010).
- World Health Organization Europe: *Environmental burden of disease associated with inadequate housing* (2011).
- 6. Amianto: l'illusione del materiale perfetto**
- Alleman J. e Mossman B.: *Asbestos revisited*, «Scientific American», luglio 1997.
- Di Maso F.: *Amianto. Il più grande cancerogeno del '900*, Gangemi editore (2011).
- Frost G. et al.: *Occupational exposure to asbestos and mortality among asbestos removal workers: a Poisson regression analysis*, «British Journal of Cancer», 99: 822-829 (2008).
- Gee D. e Greenberg M.: Asbestos: from “magic” to malevolent mineral. In European Environmental Agency: *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. (2001).
- Gruppo di lavoro SENTIERI. SENTIERI – *Studio epidemiologico nazionale dei territori e degli insediamenti esposti a rischio da inquinamento: RISULTATI*, «Epidemiologia&Prevenzione», 35 (5-6) Suppl. 4: 1-204 (2011).
- ISPESL - Dipartimento di medicina del lavoro. *Il registro nazionale dei mesoteliomi. Terzo rapporto* (2010).
- Lilienfeld DE., Engin MS.: *The Silence: The asbestos industry and early occupational cancer research – A case study*, «American Journal of Public Health», 81: 6, 791-800 (1991).
- Ministero della Salute. Quaderno numero 15: *Stato dell'arte e prospettive in materia di contrasto alle patologie asbesto-correlate*. Maggio-giugno 2012.
- Peto J. et al.: *The European mesothelioma epidemic*, «British Journal of Cancer», 79 (3/4): 666-672 (1999).
- Tribunale di Torino – Sezione prima penale. Motivazione della sentenza del Processo Eternit (2012).

Bibliografia

WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. A review of human carcinogens – Part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *The Lancet Oncology* 10: 5 453-454 (2009).

7. Radon: il nemico nascosto nelle nostre case

Biological Effects of Ionizing radiation VI Report, «Health Effects of Exposure to indoor radon», BEIR. National Academy Press (1999).

Bochiocchio F., *The newest international trend about regulation of indoor radon*, «Radiation Protection Dosimetry», 146: 1-3: 2-5 (2011).

Bochicchio F., Forastiere F., Farchi S., Quarto M., Axelson O., *Residential radon exposure, diet and lung cancer: a case-control study in a Mediterranean region*, «International journal of cancer», 114(6): 983-991 (2005).

Bochicchio F., Campos Venuti G., Piermattei S., Nuccetelli C., Risica S., Tommasino L., Torri G., Magnoni M., Agnesod G., Sgorbati G., Bonomi M., Minach L., Trott F., Malisan MR., Maggiolo S., Gaidolfi L., Giannardi C., Rongoni A., Lombardi M., Cherubini G., D' Ostilio S., Cristofaro C., Pugliese MG., Martucci V., Crispino A., Cuzzocrea P., Sansone Santamaria A., Cappai M.: *Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian regions, «Radiation measurements»*, 40(2-6): 686-694 (2005).

Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios JM., Baysson H., Bochiocchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde F., Mäkeläinen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenaja E., Schaffrath Rosario A., Tirmarche M., Tomásek L., Whitley E., Wichmann H., Doll R.: *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*, «British medical journal», 330 (7485): 223-227 (2005).

Gray A., Read S., McGale P., Darby S.: *Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them*, «British Medical Journal», 338: a3110 (2009).

Grosche B., Kreuzer M., Kreisheimer M., Schnelzer M., Tschense A.: *Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946-1998*, «British Journal of Cancer», 6; 95 (9): 1280-7 (2006).

Krewski D., Lubin JH., Zielinski JM., Alavanja M., Catalan VS., Field RW., Klotz JB., Létourneau EG., Lynch CF., Lyon JI., Sandler DP.,

Bibliografia

- Schoenberg JB., Steck DJ., Stolwijk JA., Weinberg C., Wilcox HB.: *Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies*, «Epidemiology», 16(2): 137-45 (2005).
- Lubin JH., Wang ZY., Boice JD Jr., Xu ZY., Blot WJ., De Wang L., Kleinerman RA.: *Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies*, «International journal of cancer», 109: 132-137 (2004).
- Pirchan A., Silk H.: *Cancer on the lung in the miners of Jachymov* (Joachimsthal), «The American Journal of Cancer», 4: 681-722 (1932).
- Ministero della Salute. *Piano Nazionale Radon* (2002).
- UNSCEAR: *Summary of low-dose radiation effects on health*. (2010).
- World Health Organization: *WHO Handbook on indoor radon. A public perspective*. (2009).

Stampato nel gennaio 2013
per conto di Baldini Castoldi Dalai editore S.p.A.
da Grafica Veneta S.p.A. - Trebaseleghe (PD)