

La qualità dell'aria negli ambienti interni: problemi e tecniche di controllo

M. Masoero

1. INTRODUZIONE

Il problema della qualità dell'aria, con le sue vaste implicazioni di carattere sanitario, tecnologico ed economico, è stato oggetto di crescente attenzione da parte della comunità scientifica e dell'opinione pubblica a partire dalla fine degli anni '60.

Quando si parla di qualità dell'aria si tende a identificare il problema con l'inquinamento dell'atmosfera, ed in effetti la grande maggioranza degli studi e degli interventi normativo-legislativi in materia hanno riguardato finora, almeno in Italia, quasi esclusivamente l'ambiente esterno.

Peraltro, soprattutto nelle società economicamente più sviluppate, la maggiore percentuale del tempo viene trascorsa in ambienti confinati, siano essi il luogo di lavoro, l'abitazione, o i mezzi di trasporto pubblici e privati.

L'aria all'interno degli ambienti confinati non è sempre di qualità accettabile: può contenere inquinanti in concentrazioni superiori ai limiti di legge per gli ambienti esterni ed essere causa di malattie oppure di molestia per l'uomo. Il problema dell'inquinamento "indoor" (per usare un termine inglese ormai entrato nell'uso comune e difficilmente traducibile in italiano con un singolo vocabolo) merita quindi un'attenzione non inferiore a quello dell'inquinamento "outdoor".

Non stupisce quindi che l'IAQ (Indoor Air Quality) costituisca, almeno nel settore dell'impiantistica per il benessere, il tema del momento: lo dimostrano il numero di seminari e congressi che sono stati organizzati negli anni scorsi o che sono in programma nel prossimo futuro; il diffondersi di consorzi e cooperazioni di ricerca a livello internazionale (tra cui l'Air Infiltration and Ventilation Centre dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, di cui l'Italia fa parte insieme a dodici altri paesi OCSE) e nazionale (Consorzio IAQ Italia, costituito da numerose aziende del settore); infine, l'estendersi dell'attività legislativo-normativa, soprattutto in ambito Comunità Europea.

2. DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

L'inquinamento indoor può essere definito come [Meloni e Grassi, 1990] "qualsiasi alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'aria, determinata sia da variazioni di concentrazione dei suoi normali costituenti, sia e soprattutto dalla presenza di sostanze estranee alla sua composizione normale, in grado di determinare effetti di danno e/o molestia all'uomo e agli organismi viventi".

Normalmente, quando si parla di inquinamento indoor si fa riferimento a condizioni di esposizione che riguardano la popolazione nel suo complesso, escludendo quindi i cosiddetti rischi "professionali", che interessano categorie ben definite di addetti a particolari attività lavorative e che sono oggetto specifico di studio per gli specialisti di igiene del lavoro.

Il problema dell'inquinamento indoor può essere affrontato da diversi punti di vista: da un punto di vista medico, l'interesse risiede nell'identificazione degli effetti sanitari delle sostanze inquinanti, in rapporto alle loro concentrazioni, al tempo di esposizione degli individui e agli eventuali effetti sinergici fra inquinanti diversi contemporaneamente presenti nell'aria.

L'inquinamento indoor influisce anche sulle condizioni di benessere complessivo delle persone: in questo senso ciò che interessa è la percezione della qualità dell'aria da parte degli individui, più che il dato oggettivo di concentrazione di una data specie chimica, misurabile per via strumentale.

Questa "doppia natura" del problema è ben sintetizzata dalla definizione di "Acceptable Indoor Air Quality" contenuta nella normativa dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 62-1989 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality): "Aria in cui non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti, e rispetto alla quale la maggioranza (almeno 80%) delle persone esposte non esprime insoddisfazione".

Per l'ingegnere (ed in particolare per l'installatore) il controllo della qualità dell'aria indoor riguarda tutti gli aspetti e le fasi della progettazione, costruzione, collaudo e gestione del sistema edificio-impianto: scelta dei materiali da costruzione e della tipologia impiantistica, scelta dei riferimenti normativi al fine dell'adozione di dati di progetto attendibili, verifiche in campo dei risultati ottenuti in sede di avviamento e taratura dell'impianto o di suo normale esercizio, adozione di strategie di controllo e manutenzione adeguate.

3. STATO DELLA RICERCA E DELLA NORMATIVA

I primi studi sistematici sull'inquinamento indoor vennero condotti, nella seconda metà del secolo scorso, dalla scuola igienistica tedesca (Pettenkofer). Tali studi miravano a determinare le quantità di aria esterna necessarie per controllare gli inquinanti e gli odori prodotti dal metabolismo umano.

Negli anni '30, in conseguenza della diffusione degli impianti di ventilazione meccanica, vennero ripresi soprattutto negli Stati Uniti gli studi sull'argomento: fondamentali furono le ricerche condotte da Yaglou per conto dell'American Society of Heating & Ventilating Engineers (progenitrice dell'attuale ASHRAE), che hanno costituito la base della pratica ingegneristica per il trentennio successivo. Su questi risultati si

basano tuttora svariate normative che specificano i tassi di ventilazione richiesti sia per controllare le proprietà termoigrometriche dell'aria e la concentrazione di anidride carbonica prodotta dal metabolismo umano, sia per eliminare i prodotti della combustione del tabacco.

L'attuale "esplosione" di interesse per l'IAQ ha cause molteplici: da un lato risponde alla crescente domanda di qualità della vita in senso generale ed è resa possibile dall'affinarsi delle tecniche sperimentali per il monitoraggio della composizione chimico-fisico-batteriologica dell'aria; dall'altro è una conseguenza delle politiche di risparmio energetico adottate (talvolta non senza superficialità) all'indomani delle crisi petrolifere degli anni '70.

È noto che la climatizzazione degli edifici contribuisce a circa un quarto del consumo energetico di un paese come l'Italia e tale percentuale può essere anche superiore in regioni dal clima meno mite, quali i paesi dell'Europa settentrionale o del continente Nord Americano. Il trattamento termoigrometrico dell'aria di ricambio costituisce a sua volta una frazione consistente del bilancio energetico di un sistema di climatizzazione. Non stupisce quindi che uno dei primi accorgimenti adottati per risparmiare energia sia stata la riduzione dei tassi di ricambio dell'aria.

Alla base di tale strategia esisteva anche la convinzione, rivelatasi erronea, che le fonti principali di inquinamento fossero esterne all'edificio. Il problema è nella realtà assai più complesso anche per effetto di fattori quali:

- il sempre più vasto impiego di materiali da costruzione sintetici per i rivestimenti, l'isolamento termoacustico e l'arredamento che costituiscono fonti significative di sostanze inquinanti;
- il fatto che taluni materiali da costruzione tradizionali possono essere causa di emissione di sostanze radioattive (radon e suoi derivati);
- il diffondersi di patologie ascrivibili a incorretta gestione o manutenzione degli impianti di condizionamento dell'aria che possono divenire, in circostanze particolarmente sfortunate, terreno di coltura e veicolo di agenti irritanti o patogeni.

La già citata normativa ASHRAE del 1989 stabilisce due metodologie alternative per ottenere una qualità dell'aria indoor accettabile: il primo approccio è quello tradizionale basato sulla diluizione degli inquinanti con aria esterna di ricambio, il secondo approccio si basa invece sul monitoraggio della qualità dell'aria in ambiente.

Nel caso della ventilazione con aria esterna, la normativa stabilisce i criteri di accettabilità e le modalità consigliate di immissione e trattamento dell'aria esterna, nonché i valori di portata di ricambio necessari per le varie destinazioni d'uso dell'edificio e tipologie di impianto.

Un importante aspetto del problema, sottolineato dalla normativa ASHRAE, è quello della cosiddetta "efficienza di ventilazione". Le portate d'aria di ricambio consigliate sono determinate nell'ipotesi di perfetta miscelazione dell'aria all'interno dell'ambiente: questo significa che la concentrazione di un dato inquinante ha lo stesso valore in ogni punto dell'ambiente e quindi anche in corrispondenza del sistema di estrazione. Nella realtà la concentrazione all'estrazione può essere maggiore che in ambiente (ad esempio, in presenza di un cappa installata in corrispondenza di una sorgente inquinante localizzata), oppure può essere minore (ad esempio, nel caso in cui si verifichi un "corto circuito" tra immissione ed estrazione dell'aria). Nel primo caso l'efficienza del sistema di ventilazione è maggiore di quanto prevedibile in base all'ipotesi di perfetta miscelazione, per cui è possibile rispettare gli standard di qualità dell'aria con minori portate di ricambio; l'opposto si verifica ovviamente nel secondo caso.

Il secondo approccio indicato dalla normativa ASHRAE, basato sul monitoraggio dell'IAQ, lascia al progettista libertà nella scelta della soluzione impiantistica idonea ad ottenere lo standard di qualità desiderato: una soluzione alternativa alla diluizione con aria esterna è, ad esempio, il trattamento dell'aria di ricircolo con opportuni processi di depurazione.

La normativa non esaurisce tutti gli aspetti pratici connessi con l'applicazione di tale approccio. Per quanto riguarda una valutazione oggettiva dell'IAQ, le conoscenze mediche sono tuttora in forte evoluzione; la normativa ASHRAE riporta una serie di riferimenti utilizzabili per definire le concentrazioni accettabili delle varie specie inquinanti, fra cui direttive e standard (Statunitensi e Canadesi) applicabili agli ambienti residenziali e di lavoro e dati prodotti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (World Health Organization).

Per quanto riguarda la valutazione soggettiva dell'IAQ, Fanger [1988], seguendo un approccio analogo a quello del comfort termoigrometrico, ha proposto una metodologia per esprimere quantitativamente la percezione della qualità dell'aria (in termini di percentuale di insoddisfatti) in funzione delle varie emissioni inquinanti.

4. ASPETTI PRATICI DELL'INQUINAMENTO INDOOR: CAUSE, EFFETTI E RIMEDI

L'inquinamento indoor è attribuibile a molteplici cause, che possono essere classificate nel modo seguente:

- inquinamento di origine esterna
 - inquinanti presenti nell'atmosfera esterna
 - inquinanti provenienti dalle acque o dal suolo
- inquinamento prodotto dalle attività umane
 - processi metabolici
 - animali domestici
 - fumo di tabacco
 - cottura dei cibi
 - uso di detersivi, prodotti per l'igiene personale ecc.
- inquinamento prodotto dall'ambiente fisico interno
 - emissioni dei materiali da costruzione e arredi
- inquinamento causato da sistemi impiantistici
 - impianti di condizionamento dell'aria
 - apparecchi a combustione
 - apparecchiature d'ufficio, elettrodomestici ecc.

La gamma di possibili inquinanti indoor è estremamente vasta, anche se l'attenzione della ricerca e della normativa è concentrata su un numero limitato di agenti che più frequentemente si trovano in concentrazioni superiori al limite consigliato: ossido di carbonio, biossido di azoto, formaldeide e radon. Riguardo agli effetti sull'uomo, i principali inquinanti indoor possono essere suddivisi in quattro gruppi [Meloni e Grassi, 1990]:

- ad azione prevalentemente irritante (polveri, biossido di azoto, ozono, formaldeide ecc.);
- ad azione prevalentemente tossica (CO, nicotina, metalli pesanti ecc.);
- ad azione prevalentemente sensibilizzante (pollini, fibre sintetiche ecc.);
- a sospetta/probabile azione cancerogena (amianto, radon, formaldeide, idrocarburi policiclici aromatici).

Riassumere gli aspetti quantitativi del problema dell'IAQ (standard di qualità dell'aria, livelli di emissione dei vari inquinanti, disposizioni normative sulla ventilazione ecc.) esula dagli obiettivi di questo lavoro: ci si limiterà pertanto, nei paragrafi che seguono, a discutere alcuni importanti aspetti applicativi, riman-

dando il lettore interessato a informazioni di maggiore dettaglio alla bibliografia ragionata riportata in appendice.

4.1. Inquinamento di origine esterna

Le principali sostanze inquinanti immesse in atmosfera dagli impianti fissi e dal traffico veicolare sono raggruppabili in cinque classi:

- ossidi di carbonio (COx);
- ossidi di zolfo (SOx);
- ossidi di azoto (NOx);
- composti organici volatili (COV);
- particolato solido totale (PST).

In aggiunta a tali sostanze occorre considerare i cosiddetti "microinquinanti" (ad esempio i metalli pesanti quali il piombo) sostanze che, pur essendo presenti in atmosfera in concentrazioni piccolissime, hanno comunque una considerevole rilevanza sanitaria.

In qualsiasi ambiente abitato dall'uomo si verifica uno scambio di aria con l'ambiente esterno per cause naturali non controllate (infiltrazioni/exfiltrazioni attraverso le aperture dell'involucro edilizio) oppure per effetto di sistemi meccanici di ventilazione. Tutte le specie di inquinanti contenuti nell'aria esterna possono quindi essere presenti negli ambienti interni (anche in assenza di sorgenti indoor), in concentrazioni generalmente prossime o inferiori a quelle esterne.

Esistono peraltro alcune situazioni in cui inquinanti di origine esterna possono dar luogo a seri problemi di qualità dell'aria indoor.

In edifici dotati di impianti di ventilazione meccanica riveste notevole importanza la localizzazione delle prese di aria esterna, al fine di evitare interazioni con emissioni inquinanti localizzate, ad esempio con gli scarichi degli autoveicoli nel caso in cui l'edificio sia situato in una zona ad elevato volume di traffico.

Fra gli inquinanti di origine prevalente esterna, particolare attenzione merita il Radon-222, un isotopo radioattivo prodotto dal decadimento naturale dell'uranio, che può trarre origine dal terreno, dalle acque di falda e da taluni materiali da costruzione di origine naturale (calcestruzzo). Il Radon-222 ha un tempo di dimezzamento di 3,8 giorni, abbastanza lungo in rapporto ai tempi di rilascio e trasporto all'interno degli spazi abitati: si ritiene in effetti che tale sostanza sia la causa principale di esposizione a radiazione ionizzante per un individuo medio.

Il livello di esposizione al Radon dipende in larga mi-

sura dalla natura geologica della regione, dalla provenienza dei materiali da costruzione impiegati e dalla tipologia dell'edificio; risultano infatti particolarmente critiche le abitazioni unifamiliari con diretta comunicazione fra zona abitata e piano interrato: il Radon può infatti penetrare nell'edificio attraverso le strutture di fondazione, per cui diventa fondamentale adottare strategie di ventilazione che pongano lo spazio abitato in leggera sovrappressione rispetto al piano interrato.

4.2. Emissioni dovute alle attività degli abitanti

I processi metabolici che avvengono nell'organismo umano e numerose attività quotidiane, quali la cottura dei cibi, introducono in ambiente anidride carbonica, vapor d'acqua e odori che possono rendere l'ambiente insalubre o poco confortevole.

È generalmente difficile ridurre l'inquinamento indoor agendo sulle abitudini degli abitanti, per cui l'unica strategia perseguibile rimane la ventilazione. Negli ultimi anni, in effetti, stanno riscuotendo interesse crescente sistemi di ventilazione regolati in base all'effettiva richiesta da parte degli occupanti (Demand Controlled Ventilation Systems) [Raatschen, 1990]; tali sistemi utilizzano per lo più sensori basati sulla misura di concentrazione di CO₂ o del vapor d'acqua.

La concentrazione di CO₂ è in effetti un buon indicatore dell'inquinamento dovuto agli abitanti, anche in termini di accettazione degli odori. La normativa ASHRAE 62-1989 indica che una portata di ricambio d'aria costante pari a 29 m³/h-persona è normalmente sufficiente a mantenere la concentrazione di CO₂ a livelli compresi tra 1000 e 1500 ppm (valori superiori alla concentrazione esterna dello 0,065%-0,10%), con percentuali di insoddisfatti riguardo agli odori non superiori al 20%.

L'umidità dell'aria ambiente deve essere preferibilmente compresa nell'intervallo 30%-80%, essendo 50% il valore ottimale: valori non compresi in tale intervallo favoriscono infatti lo sviluppo di agenti patogeni responsabili di infezioni o allergie, mentre valori di umidità relativa prossimi al 100% sono causa della formazione di muffa nei punti critici della struttura edilizia (ponti termici). Tassi di ventilazione compresi tra 0,5 e 1 volumi/ora sono generalmente sufficienti al controllo dell'umidità nelle abitazioni civili.

Il fumo di tabacco è ovviamente una delle principali e più dannose fonti di inquinamento indoor, poiché comporta l'immissione di CO, NOx, particolato solido respirabile e contaminanti organici di varia composi-

zione chimica. La portata d'aria di ricambio necessaria in presenza di fumatori è da tre a quattro volte superiore a quella richiesta in assenza di fumatori. I prodotti per l'igiene personale e per la pulizia della casa, le vernici, gli insetticidi e simili, sono a loro volta fonte di emissione di composti organici ed inorganici potenzialmente pericolosi.

4.3. Emissioni dei materiali

I materiali utilizzati per le strutture edilizie, per i rivestimenti e per gli arredi possono rappresentare una sorgente importante, e relativamente poco conosciuta in termini qualitativi e quantitativi, di inquinamento indoor [White et al., 1988].

I polimeri sintetici utilizzati per rivestimenti e arredi possono degradare nel tempo, emettendo piccole quantità dei loro costituenti originali o di composti da essi derivati. I tessuti e le moquette, generalmente costituiti da fibre artificiali, possono essere fonte di contaminanti organici e, talvolta, microbiologici. I collanti e le resine utilizzate nei laminati plastici e nei truciolati possono emettere, soprattutto nella fase iniziale di vita dell'edificio, notevoli quantitativi di formaldeide, gas di odore pungente causa di reazioni irritanti a carico dell'apparato respiratorio e di sospetta cancerogenicità; tale composto può anche essere originato, insieme ad altri inquinanti gassosi, dagli isolanti a base di schiuma di urea-formaldeide.

Alcuni materiali, come l'amianto e la lana di vetro, impiegati per l'isolamento termico o per l'assorbimento acustico, possono disperdere in ambiente fibre assai pericolose per l'apparato respiratorio, soprattutto durante opere edilizie che comportano la manipolazione di tali materiali.

Infine, come discusso nel precedente paragrafo 4.1., i calcestruzzi possono emettere Radon.

Il controllo dell'inquinamento causato dai materiali è tecnicamente possibile solo a livello preventivo, attraverso la scelta di prodotti caratterizzati da emissioni contenute. Occorre inoltre tenere presente che l'emissione di determinate sostanze inquinanti è particolarmente intensa durante la fase iniziale di vita dell'edificio (fase di costruzione e primo periodo di occupazione), e tende ad estinguersi dopo un certo tempo; d'altro canto alcuni materiali impiegati per rivestire vaste superfici interne (moquette, tappezzerie, pannelli fonoassorbenti ecc.) possono a loro volta "impregnarsi" di inquinanti nella fase di costruzione e riemetterli lentamente nel tempo. Per ovviare a tali inconvenienti può essere quindi utile predisporre una

"ventilazione temporanea", limitata alla sola fase di costruzione dell'edificio.

4.4. Emissione degli apparecchi a combustione

In un'abitazione possono essere presenti numerose tipologie di apparecchi a combustione, progettati per utilizzare combustibili gassosi (gas di rete o in bombola), liquidi (gasolio, kerosene) o solidi (legna, carbone), con scarico dei prodotti di combustione direttamente in ambiente o all'esterno attraverso un camino.

Dalla reazione di combustione si originano, in condizioni stechiometriche, anidride carbonica e vapore d'acqua; a queste sostanze occorre aggiungere altri composti che si formano nelle condizioni reali di combustione, differenti dalla combustione completa teorica.

La combustione incompleta, particolarmente frequente negli apparecchi in cui il processo di combustione non è realmente controllabile, genera ossido di carbonio CO, che è in assoluto l'inquinante indoor più pericoloso riguardo alle intossicazioni acute.

La formazione di CO nella combustione, anche ipotizzando che il bruciatore sia perfettamente regolato, può aumentare di alcuni ordini di grandezza in tempi molto rapidi quando in ambiente, per effetto di un insufficiente apporto di aria esterna, il contenuto di ossigeno atmosferico scende anche solo di 1-2 punti percentuali al di sotto del valore normale (21% circa) [De'Stefani, 1985].

Un altro inquinante prodotto dalla combustione è l'ossido di azoto NO; tale composto si forma nelle fiamme attraverso tre meccanismi possibili: dall'azoto atmosferico per ossidazione ad alta temperatura (> 1000°C) o per attacco da parte di radicali a temperatura più bassa, oppure per ossidazione di azoto eventualmente presente nel combustibile.

L'ossido di azoto è un composto di scarsa rilevanza sanitaria, ma può dar luogo a complesse reazioni da cui si originano composti irritanti (o addirittura cancerogeni), quali il biossido di azoto, l'ozono e alcuni derivati degli idrocarburi.

Il controllo di tali inquinanti comporta innanzitutto l'eliminazione di apparecchi con scarico diretto in ambiente e, in secondo luogo, l'adozione di una serie di accorgimenti miranti alla sicurezza e al controllo di combustione: corretto dimensionamento e realizzazione dei condotti di scarico dei fumi, previsione di adeguate aperture di alimentazione dell'aria di com-

bustione, impiego di apparecchi a focolaio stagno (caldaie a tiraggio bilanciato), installazione di dispositivi di sicurezza in grado di interrompere la combustione in risposta ad anomalie di funzionamento (riduzione del tenore di ossigeno nell'aria, inversione di flusso nell'interruttore di tiraggio ecc.).

4.5. Considerazioni sugli impianti di condizionamento dell'aria

Molto si è scritto in questi anni sulla cosiddetta "sindrome dell'edificio malsano" (sick building syndrome), il complesso di malesseri e nei casi più gravi patologie attribuibili a difetti strutturali o di gestione del sistema edificio-impianti. In alcuni casi si è arrivati ad attribuire all'impianto di condizionamento tutta la responsabilità di tali episodi, favorendo così il diffondersi dell'opinione errata che l'impianto di condizionamento sia un male da evitare in ogni caso in cui le condizioni climatiche permettano di ricorrere alla ventilazione naturale. Ciò non significa peraltro che un impianto di condizionamento che presenti carenze gravi a livello di progettazione, realizzazione o manutenzione possa effettivamente essere una delle cause determinanti dell'edificio malsano; i "punti critici" dell'impianto sono soprattutto i seguenti [Raffellini e Taddia, 1990]:

Sistemi di umidificazione e torri evaporative: le vasche di raccolta dell'acqua di umidificazione possono divenire terreno di coltura di microrganismi, ove non sia previsto un opportuno trattamento dell'acqua medesima; il problema non si pone quando viene adottata l'umidificazione a vapore, anche se occorre cautela nell'utilizzare vapore direttamente proveniente dalla caldaia. Per quanto riguarda le torri, particolare attenzione va posta alla possibile crescita della Legionella Pneumophila per temperature dell'acqua comprese tra 20°C e 50°C.

Centrali di trattamento aria: occorre verificare la tenuta all'aria delle pannellature, la presenza di interstizi o porosità non pulibili, l'assenza di zone di ristagno d'acqua. Attenzione meritano inoltre i ventilatori e la sezione filtrante, che devono essere facilmente ispezionabili.

Canalizzazioni: è necessario porre attenzione alla tenuta all'aria, all'isolamento termico (evitando isolamento interno con materiali porosi che possono divenire ricettacolo di sporcizia o disperdere fibre pericolose) e, in generale, alla localizzazione dei canali che devono essere adeguatamente protetti da azioni esterne nocive e resi ispezionabili per la manutenzione.

Terminali: ventilconvettori e unità a induzione richiedono operazioni frequenti di manutenzione al fine di evitare l'accumulo di sporcizia o agenti patogeni.

5. CONCLUSIONI

Il problema dell'IAQ è un vasto tema interdisciplinare, che richiede l'apporto di competenze mediche, chimico-fisiche e ingegneristiche.

È peraltro importante sottolineare come esista ancora una certa confusione su diversi aspetti del problema. Sovente il concetto di "ambiente insalubre" viene confuso con quello di "ambiente poco confortevole" e non sempre viene sottolineato che l'approccio più efficace per il miglioramento dell'IAQ richiede di operare su più fronti: da un lato riducendo le emissioni di sostanze inquinanti che interessano l'ambiente indoor, dall'altro adottando strategie di ventilazione adeguate al contesto in cui viene applicata.

Negli anni a venire il problema dell'IAQ richiederà notevoli sforzi di ricerca di base, di sviluppo di prodotti e di trasferimento di conoscenza nella legislazione e nella normativa tecnica: esso potrà anche offrire importanti occasioni di lavoro per i professionisti e per l'industria, favorendo lo sviluppo di nuove figure professionali e la diffusione di tecnologie impiantistiche avanzate.

Appendice - Bibliografia Ragionata

Manualistica e normativa sull'IAQ e sulla progettazione degli impianti

ASHRAE Handbook - 1989 Fundamentals, Cap. 11 "Air contaminants", Cap. 12 "Odors", Cap. 23 "Infiltration and Ventilation". American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta (USA), 1989.

ASHRAE Handbook - 1987 HVAC Systems and Applications. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta (USA), 1987.

ASHRAE Standard 62-1989 "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality". American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta (USA), 1989.

National Building Code of Finland "Indoor Climate and Ventilation in Buildings - Regulation and Guidelines 1987" The Ministry of the Environment, Helsinki, 1987.

Minister of National Health and Welfare of Canada "Exposure guidelines for residential indoor air quality". Ottawa, 1987.

Plan Construction et Architecture - Ministère Délégué à l'Environnement "Pollution de l'air intérieur des locaux habitables". Suppl. al n. 28 di Plan Construction Actualités, luglio 1987.

Rapporti di ricerca

Ministero dell'Ambiente - Commissione di studi sull'inquinamento negli ambienti non industriali - Sottocommissione Tecnologie Edilizie. Documenti a cura del Consorzio IAQ Italia, Milano, 1989.

L. Trepte, F. Haberda (ed.) "IEA Annex IX - Minimum Ventilation Rates and Measures for Controlling Indoor Air Quality". Air Infiltra-

ion and Ventilation Centre, Technical Note AIVC 26, Coventry Gran Bretagna, 1989.

K. Colthorpe "A review of building airtightness and ventilation standards" Air Infiltration and Ventilation Centre, Technical Note AIVC 30, Coventry (Gran Bretagna), 1990.

W. Raatschen (ed.) "Demand Controlled Ventilating System - State of the Art Review". Report of IEA Annex XIII. Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1990.

Congressi recenti sull'IAQ

ASHRAE Annual IAQ Conference (dal 1986). Atti pubblicati dall'American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta (USA).

AIVC Annual Conference (dal 1980). Atti pubblicati da Air Infiltration and Ventilation Centre, Technical Note AIVC 26, Coventry (Gran Bretagna).

Indoor Air '90 - Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto (Canada), luglio 1990.

Convegno nazionale AICARR Milano '90 "La qualità dell'aria per il benessere dell'uomo". Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, Milano.

Articoli consultati per la stesura di questa memoria

H.M. Amman et al. "Health effects associated with indoor air pollutants" *Proc. IAQ'86 Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*. ASHRAE, Atlanta (USA), 1986.

K.Y. Telchman, J.E. Woods "Ventilation and indoor air quality: regulations, codes, and voluntary consensus standards". *Proc. IAQ'87 Practical Control of Indoor Air Problems*. ASHRAE, Atlanta (USA) 1987.

P. De' Stefani "Gli apparecchi a gas senza tiraggio. Informazioni sulla normativa di sicurezza". *CH4 Energia Metano*, n. 5, ottobre-dicembre 1985.

P.O. Fanger "Introduction of the Olf and Decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors". *Energy and Buildings*, n. 12, 1988.

C. Meloni, C. Grassi "Inquinamento indoor e patologia respiratoria" *Il Condizionamento dell'Aria*, luglio 1990.

J.E. Peterson "Use and abuse of ambient air quality standards to evaluate indoor environment". *Proc. Healthy Buildings '88*, Stoccolma, 1988.

G. Raffellini, C. Taddia "Tipologia degli impianti". *Il Condizionamento dell'aria*, settembre 1990.

W.G. Tucker "Research overview: sources of indoor air pollutants" *Proc. IAQ'86 Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation*. ASHRAE, Atlanta (USA), 1986.

W.M. Vaughan, J.L. Deuble "IAQ studies: what's involved and what it costs". *Ibidem*.

J.B. White et al. "A Data Base on the sources of indoor air pollution emissions" *Proc. IAQ'88 Engineering Solutions to Indoor Air Problems*. ASHRAE, Atlanta (USA), 1988.

Relazione presentata al 3° Convegno ATIG "Gas 2000: ricerca, sviluppo e organizzazione per una migliore qualità della vita" - Genova, 26-28 novembre 1990