

QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI CONFINATI: LO STATO DELL'ARTE

G. Riccio

Dipartimento di Energetica Termofluidodinamica applicata e Condizionamenti ambientali (D.E.TE.C.) - Università degli Studi di Napoli Federico II

1 - GENERALITÀ

“La qualità dell'aria interna è considerata accettabile quando in essa non sono presenti inquinanti in concentrazioni dannose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti, e quando una notevole percentuale di persone (80% o più) non esprime insoddisfazione verso essa”. Questa definizione (ASHRAE, 1999), attualmente di ampio uso per gli ambienti interni non industriali, raccoglie in se sia il concetto di sicurezza che quello ergonomico di comfort e, inoltre, evidenzia l'esistenza delle differenze tra individui.

Per quanto concerne la sicurezza il conseguimento di una elevata qualità dell'aria negli ambienti confinati (con terminologia anglosassone IAQ, Indoor Air Quality) richiede innanzitutto la conoscenza degli inquinanti, classificabili in esterni ed interni, che in essa possono essere presenti e delle relative fonti.

Gli inquinanti esterni, elencati nella Tabella 1, sono quelli presenti nell'aria esterna e che, se non sono previsti particolari trattamenti, si ritrovano tal quali nell'aria all'interno degli edifici.

Tabella 1: Principali inquinanti presenti nell'aria esterna

<ul style="list-style-type: none">• Ossidi di azoto• Ossidi di zolfo• Ossidi di carbonio• Ozono	<ul style="list-style-type: none">• Composti organici volatili (VOC)¹• Particolato sospeso totale (PST)• Pollini• Microrganismi (muffe, batteri, funghi)
--	--

Agli inquinanti presenti nell'aria prelevata dall'esterno si aggiungono quelli emessi dalle fonti interne d'inquinamento (o, con terminologia anglosassone, indoor) che sono molteplici (ASHRAE, 1997a; Maroni, 1998).

La prima fonte di inquinamento è proprio l'uomo: i cibi e le bevande ingeriti subiscono una serie di complesse trasformazioni chimiche, complessivamente

¹ I composti organici volatili, chiamati VOC (Volatile Organic Compounds) o TVOC (Total Organic Volatile Compounds), sono circa un migliaio e tra i più importanti vi sono il benzene e la formaldeide (Commission of E.C., 1997).

chiamate metabolismo; che, tra l'altro, provocano l'emissione nell'aria di sostanze volatili, essenzialmente sostanze aromatiche, generalmente chiamate "bioeffluenti". Entrando in una stanza in cui per molte ore hanno soggiornato più persone che non hanno mai aperto la finestra, si ha immediatamente la sensazione di aria viziata; anche gli animali emettono sostanze inquinanti, in parte simili a quelle emesse dagli uomini, per cui la presenza di animali domestici in casa non fa che accrescere il carico inquinante. Ulteriore fonte di inquinamento dovuta strettamente all'uomo è il fumo, in quanto in questo caso ai bioeffluenti si aggiungono i prodotti della combustione delle sigarette.

Un altro tipo di inquinamento molto frequente e talvolta molto intenso è quello connesso alla preparazione e alla cottura dei cibi. Spesso entrando in una casa si è in grado di "indovinare" che cosa si sta cucinando o che cosa si è mangiato, con sensazioni olfattive che talvolta permangono anche alcune ore.

Alle apparecchiature di stampa e riproduzione, quali stampanti, fax e fotocopiatrici è dovuto l'inquinamento tipico degli uffici. Infatti, tali apparecchiature emettono raggi ultravioletti che producono ozono, ossigeno in molecole triatomiche anziché biatomiche, dannoso alle vie respiratorie.

Anche i prodotti detergenti utilizzati per la pulizia spesso rilasciano sostanze inquinanti. Se si entra in un locale subito dopo l'effettuazione delle operazioni di pulizia, generalmente si avvertono odori molto intensi e l'aria è poco respirabile. La sensazione olfattiva è spesso intensa in quanto, per rendere l'operazione di pulizia più rapida ed efficace, si tende ad usare prodotti molto aggressivi che spesso sono anche più inquinanti.

Sono fonte di inquinamento alcuni materiali usati in edilizia o per arredi: vernici, plastiche, truciolati, parati, tappeti, moquettes rilasciano sostanze volatili, in alcuni casi anche per molti anni.

Spesso l'impianto di condizionamento può essere fonte di inquinanti, sia biologici che chimici, se la manutenzione è insufficiente. Colture di microrganismi si possono avere nei filtri, se non sostituiti con opportuna periodicità, nelle vaschette di raccolta dell'acqua di condensa, se non opportunamente sanificate, e nelle condotte aerauliche, soprattutto se internamente rivestite con isolante termoacustico nel quale si accumula inevitabilmente polvere.

Tra gli inquinanti interni va poi ricordato il radon, gas prodotto dal decadimento del radio 226 che si trova nel suolo, nelle rocce vulcaniche e in alcuni tipi di pietre da costruzione, soprattutto nei tufi; il radon è molto pericoloso perché non è facilmente rilevabile e tende ad accumularsi, nei locali scarsamente ventilati, sino a raggiungere concentrazioni tali da essere cancerogeno.

Nella Tabella 2 sono riportate le principali fonti di inquinanti presenti all'interno degli ambienti, mentre nella Tabella 3 a ciascuna delle fonti sono associati i principali contaminanti prodotti.

Nelle Tabelle 2 e 3 non sono considerati gli ambienti con particolari destinazioni d'uso per i quali può aversi la produzione di inquinanti specifici, ambienti del genere sono le sale operatorie in cui, tra gli inquinanti, sono presenti anche i gas anestetici.

Tabella 2: Fonti degli inquinanti indoor

Tabella 3: Principali inquinanti indoor e loro fonti più diffuse

Contaminanti indoor	Principali fonti
Ossidi di azoto	Metabolismo, combustione (fornelli, caldaie, stufe a gas) fumo di tabacco
Ossidi di zolfo	Metabolismo, combustione (fornelli, caldaie, stufe a gas) fumo di tabacco
Monossido di carbonio	Combustione non completa (fornelli, caldaie, stufe a gas), fumo di tabacco
Ozono	Stampanti laser, fotocopiatrici, fax
Composti organici volatili	Metabolismo, prodotti cosmetici, materiali da costruzione, arredi (mobili, moquettes,), vernici, colle, adesivi, solventi, prodotti per la pulizia, disinfettanti, insetticidi, fumo di tabacco
Particolato	Fumo di tabacco, attività umane, combustione, impianti di climatizzazione
Radon	Sottosuolo, materiali da costruzione

Inoltre, va sottolineato che nella Tabella 3 non compaiono il vapor d'acqua e l'anidride carbonica, che però vengono spesso tenuti sotto controllo in quanto importanti per la valutazione delle condizioni ambientali. Infatti, la concentrazione di anidride carbonica è proporzionale, così come i bioeffluenti, all'attività umana e quindi ne è indirettamente una misura; il vapor d'acqua, emesso dalle persone, dagli animali e da molte operazioni di cottura dei cibi, se presente oltre certe concentrazioni condensa sulle superfici meno calde e può determinare lo sviluppo di funghi e muffe, se presente a concentrazioni molto basse fa seccare le mucose dell'apparato respiratorio con riducendo le capacità delle prime difese da germi e può provocare l'accumulo di cariche elettrostatiche in molti materiali.

Per quanto riguarda l'aspetto ergonomico, è da sottolineare che il discomfort dovuto alla qualità dell'aria non è sempre valutabile sulla base di dati oggettivi

incontrovertibili sia perché le sostanze inquinanti sono moltissime e generalmente caratterizzate da concentrazioni molto basse e, quindi, misurabili solo con sistemi complessi e costosi, sia perché un'eventuale misurazione delle concentrazioni dei diversi inquinanti non rileverebbe i loro eventuali effetti sinergici.

Gli effetti indotti sulle persone dai contaminanti sono generalmente raggruppati nelle seguenti tre categorie (Commission of E.C., 1991):

- ◆ sollecitazioni olfattive (odori), talvolta accompagnate anche da altri sintomi, quali mal di testa, irritazioni alla gola, agli occhi;
- ◆ effetti biologici su alcuni organi (apparato respiratorio, cute), che si manifestano sotto forma di irritazioni e reazioni allergiche;
- ◆ effetti cancerogeni.

Questi effetti variano da sostanza a sostanza: per esempio alcune (come l'ossido di carbonio ed il radon) non sono avvertibili neanche alle concentrazioni alle quali sono molto dannose, mentre altre, come alcune sostanze organiche, non sono affatto dannose ma risultano sgradevolissime anche in piccolissime concentrazioni. Tali effetti variano anche da persona a persona, soprattutto per quanto riguarda la loro entità.

A partire dagli anni '80, è stato rilevato che in molti edifici, anche nuovi o recentemente rinnovati, con o senza impianto di ventilazione o di condizionamento, un'elevata percentuale di persone, anche il 50-60%, accusa un insieme di sintomi, in genere di modesta entità, che insorgono dopo alcune ore di permanenza nell'edificio e che si risolvono rapidamente dopo qualche ora o qualche giorno di non permanenza nell'edificio. Le manifestazioni cliniche (senso di secchezza, bruciori, prurito agli occhi; occlusione, prurito al naso; irritazione, secchezza alla gola; costrizione toracica; secchezza e prurito della pelle; sonnolenza; cefalea; vertigini; nausea) sono aspecifiche, variamente associate tra loro e caratterizzate da valutazioni oggettive che non permettono alcuna diagnosi. Per questi casi si è coniata l'espressione *Sick Building Syndrome* (SBS) o, in italiano, *Sindrome da edificio malato* (Burge et al., 1995).

2 - MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

I metodi utilizzati per l'ottenimento di una buona IAQ sono essenzialmente tre (Fracastoro, 1997; De Santoli e Fracastoro, 1997):

1. riduzione delle sorgenti di inquinanti;
2. rimozione degli inquinanti alla fonte;
3. diluizione degli inquinanti mediante aria esterna (ventilazione).

2.1 RIDUZIONE DELLE SORGENTI DI INQUINANTI

La prima azione da compiere è quella di limitare l'immissione in ambiente degli inquinanti, evitando o limitando l'uso di quei materiali e di quelle apparecchiature che emettono contaminanti ed effettuando quelle manutenzioni che riducono o eliminano i rischi di produzione di inquinanti da parte degli impianti.

Il metodo, ovvio, non è però sempre di semplice attuazione, soprattutto per quanto riguarda i materiali da costruzione e per i materiali di arredo, per i quali non esistono

ancora dati certi sul rilascio di contaminanti, visto che solo da pochi anni ed in pochi Paesi se ne effettuano misure (Commission of E.C., 1997).

Per quanto riguarda le condotte degli impianti di ventilazione, solo da una decina di anni si è scoperto che esse sono sorgenti di contaminanti, essenzialmente microbiologici (Commission of E.C., 1993). Tradizionalmente si è sempre prestata attenzione all'operazione di manutenzione delle UTA (unità di trattamento aria), ma, fino a qualche anno fa, non si è pensato alla pulizia delle condotte aerauliche, che purtroppo risultano generalmente molto sporche. La sporcizia presente nelle condotte deriva innanzitutto dalla mancanza di protocolli di protezione da applicare durante la loro messa in opera; infatti le condotte andrebbero pulite man mano che si installano e sigillate durante le interruzioni della fase di montaggio, evitando così l'accumulo di polvere e di sporcizia. Inoltre, durante il funzionamento dell'impianto i filtri, non essendo assoluti, lasciano passare piccolissime frazioni degli inquinanti solidi sospesi nell'aria che, col passare del tempo, si ritrovano depositati sul fondo delle condotte e costituiscono un ottimo terreno di coltura per microrganismi, soprattutto in presenza di umidità (Batterman e Burge, 1995). Il problema diventa ancora più grave se, come spesso avveniva fino a qualche anno fa, le condotte sono internamente coibentate con isolanti termoacustici, i quali, essendo generalmente costituiti da materiali porosi, trattengono molto bene la polvere e la sporcizia in genere. Attualmente esistono dei metodi perfettamente collaudati di ispezione, monitoraggio e pulizia delle condotte (Alfano et al., 1998; Cellai, 1997), con i quali spesso si può ridurre drasticamente l'inquinamento da impianto di ventilazione.

Il controllo alla fonte per il radon (Bochicchio et al., 1996, Patania, 1995, EPA, 1992). è attuabile tramite molte tecniche che consentono di ridurre, anche considerevolmente, la concentrazione in ambiente. Nel caso di radon proveniente dal sottosuolo, tali tecniche consistono nell'individuare i percorsi attraverso i quali il gas filtra negli ambienti indoor e nell'ostruirli; per il radon proveniente dai materiali da costruzione, l'uso di intonaci e/o pitture particolari può ridurre anche del 50% la quantità di gas che passa.

2.2 RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI ALLA FONTE

Il metodo è applicabile quando la produzione di inquinanti avviene in uno spazio limitato e ben definito. In questo caso si usano sistemi di estrazione dell'aria localizzati in corrispondenza della fonte degli inquinanti.

Un esempio di questa applicazione può essere fornito dai servizi igienici, nei quali è impossibile eliminare la produzione dei contaminanti e non conviene usare il sistema della diluizione (cfr. 2.3), ma è preferibile espellere l'aria contaminata mediante un estrattore, inviandola direttamente all'esterno o in una condotta di espulsione. Il sistema di estrazione può essere automatizzato corredandolo di sensori che avviano l'estrazione solo quando l'ambiente è occupato e per un tempo limitato. Le potenze richieste per questi sistemi sono di qualche decina di watt e, quindi, il costo del sistema è estremamente contenuto.

L'espulsione all'esterno dell'aria viziata sarebbe auspicabile anche nel caso dei contaminanti prodotti nelle cucine a seguito della cottura dei cibi. I piani di cottura sono sempre di una cappa, ma molto spesso la cappa, che ha la funzione di catturare i prodotti della combustione, è a ricircolo, con filtri che, se ben mantenuti,

trattengono solo una parte dei contaminanti e che, comunque, non consentono di allontanare le notevoli quantità di vapore acqueo prodotte durante la cottura.

Un'applicazione molto diffusa di questo metodo si ha nei laboratori chimici, nei quali si lavora sotto cappe dotate di un sistema di estrazione verso l'esterno per evitare la contaminazione dell'ambiente interno. Per questa applicazione è da sottolineare che non basta adottare il metodo, ma bisogna anche verificarne periodicamente l'efficienza. Nei laboratori spesso si utilizzano sostanze molto dannose, addirittura, in alcuni laboratori di ricerca, sostanze le cui proprietà non sono conosciute. Pertanto, bisogna verificare, con una frequenza tanto più alta quanto maggiore è la pericolosità delle sostanze trattate, che le sostanze contaminanti non passino nell'ambiente o, in altri termini, che l'efficienza della cappa sia altissima.

Il metodo di rimozione degli inquinanti si applica anche nelle camere operatorie per evitare il più possibile che i gas anestetici, inevitabilmente emessi dal soggetto anestetizzato e dal sistema di adduzione del gas stesso, si diffondano in ambiente.

Una apprezzabile conseguenza dell'utilizzo di sistemi di estrazione sta nel fatto che questi, oltre ad eliminare gli inquinanti direttamente alla fonte, favoriscono il ricambio dell'aria nell'ambiente interno. Gli estrattori, installati nei servizi igienici e nelle cucine, generano nell'ambiente una depressione che favorisce l'infiltrazione di aria esterna attraverso i serramenti o, più in generale, attraverso le aperture dell'edificio.

2.3 DILUIZIONE DEGLI INQUINANTI

2.3.1 Generalità

Il meccanismo fisico con cui la ventilazione riduce la concentrazione di inquinanti è quello ben noto della diluizione. Dal bilancio di materia su un ambiente con riferimento ad un contaminante j risulta che, a regime permanente e nel caso di perfetta miscelazione dell'aria immessa, sussiste la relazione:

$$Q = \frac{q_j}{C_j - C_{j,e}} \quad (1)$$

che lega la portata d'aria esterna, Q , in m^3/h , la produzione oraria del contaminante nell'ambiente, q_j , in $\mu\text{g}/\text{h}$, e la differenza tra la concentrazione del contaminante nell'ambiente, C_j , e la concentrazione dello stesso contaminante all'esterno, $C_{j,e}$, con le concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A secondo membro dell'Eq. 1 compaiono coefficienti numerici diversi a seconda delle unità di misura usate per la produzione oraria e per la concentrazione del contaminante. Questa relazione evidenzia che, per un'assegnata produzione oraria, la concentrazione dell'inquinante nell'ambiente è tanto minore quanto maggiore è la portata d'aria esterna, che ha appunto una funzione di diluizione.

La ventilazione può essere naturale o forzata.

2.3.2 Ventilazione naturale

La ventilazione naturale, che si ha nella maggior parte dei casi e certamente nella maggior parte degli ambienti residenziali, è dovuta alla differenza di pressione che si instaura tra interno ed esterno dell'edificio, a causa del vento e delle differenze di temperatura (ASHRAE, 1997b), ed alla permeabilità all'aria degli infissi.

Il considerevole aumento del costo dell'energia che si è avuto agli inizi degli anni '70 ha indotto a ridurre le portate di ventilazione. Negli edifici con meccanismo di ventilazione naturale si sono così realizzati infissi sempre più a tenuta, ottenendo una riduzione delle dispersioni e delle spese energetiche e un miglioramento dell'isolamento acustico, ma anche una drastica diminuzione delle portate d'aria di rinnovo e quindi un aumento della concentrazione degli inquinanti. Tra l'altro, come evidenziato al punto 1, le persone, oltre ai bioeffluenti, emettono anche vapore d'acqua; quindi, una scarsa ventilazione comporta certamente l'aumento dell'umidità relativa. Quando quest'ultima supera certi valori, inevitabilmente si ha condensa sulle superfici più fredde con formazione e proliferazione di funghi, microrganismi che si evidenziano con macchie maleodoranti e che sono responsabili di disturbi respiratori, soprattutto in bambini, e di manifestazioni allergiche (Commissione, 1993; Morey e Horner, 1998).

L'infisso a tenuta perfetta è pertanto causa di elevatissime concentrazioni di inquinanti per gli ambienti senza impianto di ventilazione, che diventano così sicuramente insalubri e nocivi per gli occupanti. Volendo adottare serramenti a tenuta senza introdurre un impianto di ventilazione, dovrebbero essere installate delle griglie di aerazione; tali dispositivi, molto usate in alcuni Paesi nordeuropei, sono ancora poco conosciute in Italia.

Le griglie di aerazione si possono classificare innanzitutto in passive ed attive:

griglie passive quelle non dotate di ventilatori, in esse la portata d'aria di ventilazione dipende dalla differenza di pressione esistente tra interno ed esterno e dalla perdita di carico offerta dalla griglia (ventilazione naturale);

griglie attive quelle dotate di ventilatori, con le quali la ventilazione è forzata.

Le griglie passive (Alfano et al., 2001) possono poi essere classificate in semplici (Figura 1), autoregolabili (Figura 2) ed igroregolabili (Figura 3):

griglie passive semplici quelle la cui sezione di passaggio può essere regolata manualmente;

griglie passive autoregolabili quelle dotate di un dispositivo che tende a mantenere costante la portata d'aria (indipendentemente dalla differenza di pressione);

griglie passive igroregolabili quelle nelle quali la sezione di passaggio aumenta all'aumentare del grado igrometrico interno.

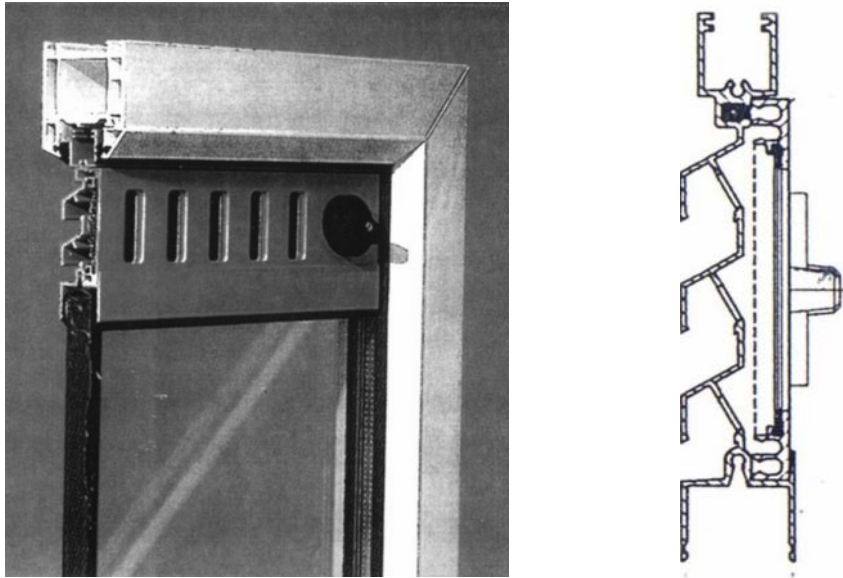


Figura 1: Griglia passiva semplice della Renson

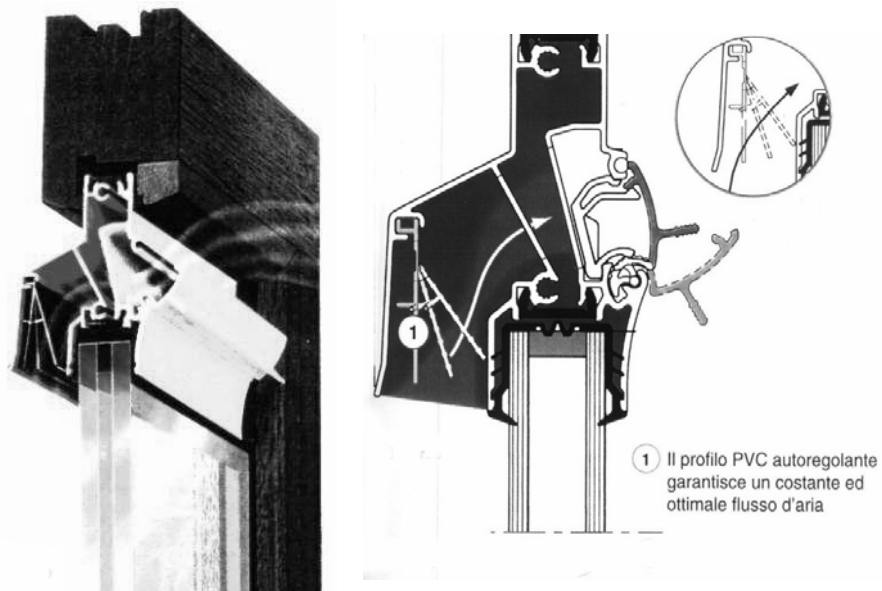


Figura 2: Griglia passiva autoregolabile della Segenia

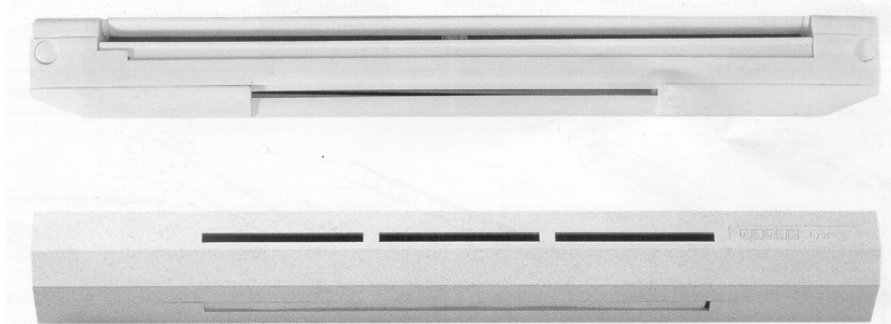


Figura 3: Griglia passiva igroregolabile della Aldes

Per quanto riguarda la posizione in cui la griglia va montata, in molti casi è possibile scegliere tra il traverso di una delle ante mobili, il cassonetto o anche, utilizzando apposite guarnizioni, la si può applicare tra il vetro e la traversa superiore di una delle ante; talvolta non c'è possibilità di scegliere la posizione di montaggio. Il prezzo delle griglie varia dalle 10.000 ai 200.000 LIT, in funzione anche delle caratteristiche di isolamento acustico. Più costose sono quelle dotate di recuperatore di calore.

2.3.3 Ventilazione forzata

Nel caso della ventilazione forzata, o meccanica, dei ventilatori spingono una portata d'aria all'interno dell'ambiente tramite una rete di condotte (Raffellini e Cellai, 1997). Come è noto, l'impianto si dice semplicemente *di ventilazione* se l'aria che viene fornita all'ambiente non viene in alcun modo trattata; *di termoventilazione* se l'aria viene riscaldata o raffreddata, a seconda della stagione; *di condizionamento* se è l'impianto è in grado di riscaldare e di umidificare l'aria nella stagione invernale e di raffreddarla e deumidificarla in quella estiva.

Qualunque sia l'impianto aeraulico adottato è ovviamente necessario che la concentrazione di inquinanti nell'aria esterna di ventilazione sia minore di quella che si desidera a regime nell'ambiente e comunque la minima possibile. Pertanto, è necessario controllare l'aria esterna ed usare opportuni accorgimenti: certamente, a monte dell'impianto di ventilazione va usato un accurato e controllato sistema di filtrazione e le prese d'aria devono essere localizzate lontano dalle sorgenti inquinanti (in particolare devono essere evitate collocazioni a livello stradale, nei pressi di aree di parcheggio ed in corrispondenza di bocchette di estrazione di impianti di ventilazione).

Un concetto molto importante, spesso sottovalutato, è quello della distribuzione dell'aria negli ambienti. Spesso si ritiene che la distribuzione vada controllata al fine di evitare che si abbiano stratificazioni e/o correnti d'aria, trascurando che una buona distribuzione dell'aria immessa è importante anche al fine di garantire la diluizione dei contaminanti. Per comprendere questo concetto, si pensi ad un ipotetico impianto di ventilazione con le bocchette di aspirazione poste in prossimità di quelle

di immissione l'aria immessa verrebbe in parte espulsa senza miscelarsi con quella presente nell'ambiente, cioè si avrebbe un cortocircuito (Figura 4).



Figura 4: Cortocircuito . Da Filippi e Bo (1990).

Si definisce efficienza di ventilazione, ϵ_v , il rapporto

$$\epsilon_v = \frac{C_{j,es} - C_{j,e}}{C_{j,m} - C_{j,e}} \quad (2)$$

ove:

- $C_{j,es}$ concentrazione dell'inquinante di riferimento j all'estrazione,
- $C_{j,e}$ concentrazione dell'inquinante di riferimento j all'esterno,
- $C_{j,m}$ concentrazione media dell'inquinante di riferimento j nell'ambiente.

L'efficienza di ventilazione è pari a 1 quando l'aria immessa, come mostrato in Figura 5 b), si mescola perfettamente con quella già presente in ambiente ($C_{j,es} = C_{j,m}$); è maggiore di 1 nel caso di "displacement ventilation", cioè nel caso illustrato in Figura 5 a) in cui l'aria procede "a pistone" da un lato all'altro dell'ambiente, per cui la concentrazione dell'inquinante di riferimento aumenta gradualmente e raggiunge il suo valore massimo proprio in corrispondenza della bocchetta di estrazione. Nel caso di "cortocircuito", che è quello di figura 2c), evidentemente l'efficienza di ventilazione risulta nulla.

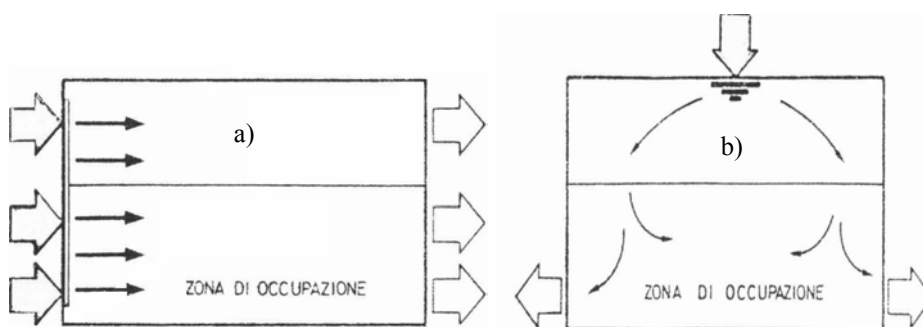


Figura 5: Tipi di distribuzione dell'aria nell'ambiente: a) displacement ventilation; b) miscelazione perfetta, Da Filippi e Bo (1990).

È allora comprensibile che non basta fissare la portata d'aria, ma è necessario, in fase di progettazione e di gestione dell'impianto, fare in modo che l'efficienza di ventilazione abbia un valore elevato. Infatti, nel caso più generale la (1) diventa

$$Q = \frac{q_j}{\varepsilon_v (C_j - C_{j,e})} \quad (3)$$

cioè la portata di ventilazione può diventare insufficiente se l'efficienza di ventilazione risulta minore di 1.

Per ridurre i costi di funzionamento degli impianti a ventilazione forzata si vanno sempre più diffondendo gli impianti DCV (*Demand Controlled Ventilation* ovvero *Ventilazione controllata a domanda*), che sono sistemi di ventilazione meccanica in cui la portata di ventilazione è adattata all'effettiva domanda, funzione del tasso di inquinamento presente istante per istante nell'ambiente. Il loro principio di funzionamento è basato sull'utilizzo di un sensore che misura la concentrazione dell'inquinante (o in linea di principio degli inquinanti) scelto come riferimento: ad esempio, se si vuole che la portata di ventilazione sia funzione del livello di bioeffluenti presenti nell'ambiente, il sensore valuterà il livello della CO₂ ed in base a questo l'impianto regolerà la portata di ventilazione. Idealmente, sarebbe necessario un sensore "totale", in grado, cioè, di misura in continuo tutti gli inquinanti e di reagire non appena la concentrazione di qualcuno di essi ecceda la predeterminata soglia di discomfort o di sicurezza; in realtà, sul mercato non sono ancora disponibili strumenti di questo tipo, anche a causa degli elevati costi che un sistema con queste caratteristiche comporterebbe. L'uso dei sistemi DCV si è dimostrato perciò particolarmente efficace in tutti i casi in cui è possibile identificare un inquinante dominante. In particolare si va sempre più diffondendo negli edifici residenziali a rischio di condensa e nelle piscine dove si controlla l'umidità, negli ambienti occupati solo periodicamente (sale conferenze, biblioteche, ecc.) dove si controlla l'anidride carbonica, nei parcheggi e nelle autorimesse dove si controlla l'ossido di carbonio. Evidentemente, questo tipo di impianto comporta degli enormi vantaggi a livello di risparmio energetico e quindi economici, dal momento che l'impianto di ventilazione funziona solo quando "è necessario". Si possono avere risparmi anche superiori al 50%.

3 - NORMATIVA

La normativa del settore è molto limitata; in Tabella 4 sono riportate le norme italiane attualmente in vigore e una norma CEN, la ENV 12097, che, pur non essendo ancora stata tradotta dall'UNI, essendo una norma sperimentale dell'organismo europeo comunitario, per regolamento comunitario è anche norma italiana.

Delle norme della Tabella 4 la più importante è senz'alcun dubbio la UNI 10339, che riguarda gli impianti aeraulici ed indica la portata d'aria esterna da immettere per ottenere una buona IAQ per i diversi tipi di ambienti. In particolare tale portata è espressa:

- ◆ in "litri per secondo e per persona prevista nell'ambiente", quando il carico inquinante sia dovuto principalmente alle persone;
- ◆ "litri per secondo e per metro quadrato di ambiente da ventilare", quando il carico inquinante sia principalmente dovuto essenzialmente ai materiali esistenti nell'ambiente;
- ◆ come numero di ricambi d'aria, quando si vuole che l'ambiente sia in depressione, come per i servizi igienici.

La norma UNI 7979 che, come si evince dal titolo, fornisce innanzitutto la classificazione dei serramenti esterni relativamente alla tenuta all'acqua, alla resistenza al vento ed alla permeabilità all'aria, fissa tre possibili classi in relazione ai valori di permeabilità² misurati; le classi sono dette A1, A2 ed A3 (alla A1 corrispondono i più alti valori di permeabilità). Ancora, la norma fissa i criteri di scelta di un serramento, stabilendo a quale classe questo dovrebbe appartenere in relazione:

- ◆ alla zona climatica nella quale si trova, secondo la definizione di zona climatica data dal D.M. 10.03.77 "Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici globali di dispersione termica";
- ◆ alla zona di vento nella quale si trova, secondo la definizione di zona di vento data dalla UNI 10012;
- ◆ al tipo di esposizione (aperta campagna, campagna con frangivento o piccolo centro o periferia di grande centro, zona centrale di grande città);
- ◆ all'altezza del serramento nell'edificio;
- ◆ la UNI-EN 42 è funzionale alla UNI 7979 in quanto normalizza il metodo di prova di laboratorio necessario per determinare la permeabilità all'aria dell'infilso.

Queste due ultime norme, pur risalendo agli anni '70, purtroppo sono ancora poco conosciute e soprattutto poco utilizzate anche dagli addetti ai lavori. Pochissimi sono gli Enti italiani in grado di effettuare misure secondo la UNI-EN 42, ed è difficilissimo trovare in Italia Istituti in grado di effettuare la misura della permeabilità all'aria in campo.

Molto importante è a nostro avviso la ENV 12097 la quale essenzialmente fissa i criteri di progettazione delle condotte degli impianti di ventilazione al fine della loro pulizia. La norma, purtroppo ancora poco conosciuta, vuole eliminare l'inconveniente, molto diffuso, di condotte di difficile pulizia perché non completamente ispezionabili e/o accessibili per tratti più o meno lunghi.

Le UNI 10344 e 10379 sono invero norme di supporto alla legge 10/91 e trattano quindi di ventilazione essenzialmente nel contesto delle verifiche di prestazione energetica del sistema edificio-impianto.

La UNI-CIG 8723, che contiene indicazioni sulla ventilazione di ambienti contenenti apparecchi a gas, sia ai fini di una buona combustione, sia ai fini di una corretta evacuazione dei prodotti della combustione, nasce non come una norma di IAQ ma come norma antincendio.

² espressa in termini di portata volumetrica (m³/h) di aria che passa attraverso il serramento, riferita al metro lineare di apertura o al metro quadrato di superficie del serramento stesso.

Tabella 4: Norme UNI relative all'IAQ*.

Norma – anno di emissione	Titolo
UNI-EN 42 – 1975	Metodi di prova delle finestre – Prove di permeabilità all'aria
UNI 7979 – 1979	Serramenti esterni (verticali) – Classificazione in base alla permeabilità all'aria, alla tenuta all'acqua ed alla resistenza al vento
UNI-CIG 8723 – 1986	Impianti a gas per apparecchi utilizzati in cucine professionali e di comunità – Prescrizione di sicurezza
UNI 10344 – 1993	Riscaldamento degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia
UNI 10379 – 1994	Riscaldamento degli edifici – Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato - Metodo di calcolo e verifica
UNI 10399 – 1995	Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura
ENV 12097 – 1997	Ventilation for buildings – Ductwork – Requirements for ductwork component to facilitate maintenance of ductwork systems

* la ENV 12097 – 1997, non ancora tradotta dall'UNI, è comunque norma italiana.

Tabella 5 – Normativa internazionale di riferimento nel campo dell'IAQ.

Norma – anno di emissione	Titolo
ISO 9972 - 1996	Thermal insulation – Determination of building airtightness – Fan pressurization method
NADCA 01 -1992	Mechanical cleaning of non porous air conveyance system component
ASHRAE 110 – 1995	Method of testing performance of laboratory fume hoods
ASHRE 129 – 1997	Measuring air-change effectiveness
NADCA 05 – 1997	Requirements for the installations of service openings in HVAC systems
ASHRAE 62 – 1999	Ventilation for acceptable Indoor Air Quality

Nella Tabella 5 sono poi riportate quelle norme internazionali riguardanti l'IAQ che vengono considerate dagli esperti norme di riferimento a livello internazionale.

La più importante è certamente l'ASHRAE³ 62 che è anche in assoluto la norma del settore più completa ed ampia. Molto sinteticamente, l'ASHRAE 62 indica due procedure:

³ L'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers

- l'uso di opportune portate d'aria esterna (seguita dalla UNI 10399);
- il controllo della concentrazione degli inquinanti.

La ASHRAE 110 riguarda la verifica dell'efficienza delle cappe, argomento di grande importanza per i rischi connessi (cfr. 2.2) mentre l'ASHRAE 129 tratta la valutazione dell'efficienza di ventilazione (cfr. 2.3).

Le NADCA⁴ -01 e -05 riguardano la pulizia delle condotte: la 01 si occupa della procedura per il campionamento della polvere sedimentata, la 05 delle aperture necessarie per poter effettuare ispezioni e interventi di pulizia.

La ISO⁵ 9972 normalizza un sistema per la valutazione della permeabilità delle pareti esterne degli edifici in laboratorio o in campo.

Dall'esame delle Tabelle 4 e 5 risulta evidente che il settore, sviluppatosi solo negli ultimi decenni, è ancora sguarnito a livello normativo. Di seguito elenchiamo argomenti che a nostro avviso richiedono delle norme:

- ◆ valori limite delle concentrazioni dei diversi contaminanti negli ambienti interni; esistono dei valori (p.e. nell'ASHRAE 62) ma sono essenzialmente ripresi dall'igiene degli ambienti industriali e differiscono da organizzazione ad organizzazione;
- ◆ strumenti (precisione, metodi di misura) per la misura delle concentrazioni degli inquinanti;
- ◆ valutazione dei contaminanti rilasciati da oggetti e materiali (materiali da costruzione, cosmetici, sostanze usate per la pulizia, arredi, ecc.);
- ◆ metodi di misura dei contaminanti microbiologici nell'aria ambiente ed in particolare nell'aria in uscita dall'impianto di ventilazione;
- ◆ misura della portata d'aria esterna nel caso di ventilazione sia naturale che forzata;
- ◆ metodo di valutazione delle condizioni di sporczia di una condotta e dell'efficienza di un intervento di pulizia;
- ◆ valutazione delle caratteristiche delle griglie di ventilazione passive autoregolabili;
- ◆ protocolli di pulizia e di protezione delle condotte all'atto della costruzione.
- ◆ metodi di pulizia e risanamento di condotte all'interno delle quali siano presenti isolanti termoacustici.

Inc.) è l'associazione tecnica americana che si occupa di climatizzazione e che ha soci praticamente in tutto il mondo.

⁴ La NADCA (American National Duct Cleaning Association) è l'associazione americana, ma è anche l'unica associazione al mondo, che si occupa della pulizia delle condotte. E' stata fondata alla fine degli anni '80. Ha molti soci fuori dal territorio americano.

⁵ L'ISO (International Standardization Organization) è l'ente normativo internazionale, al quale aderiscono gli enti normativi di quasi tutte le nazioni.

4 - DISPOSITIVI LEGISLATIVI NAZIONALI

Molti sono i dispositivi legislativi emanati in Italia che riguardano in qualche modo l'IAQ. Nella Tabella 6 sono riportati quelli emanati a partire dagli anni '50: sono leggi, decreti, circolari ministeriali, ecc. C'è da dire che nella maggior parte dei casi questi dispositivi si riferiscono all'IAQ solo in maniera qualitativa, in genere prescrivendo che l'aria sia salubre, che gli ambienti siano ventilati, che nei servizi igienici ci sia ventilazione naturale o forzata, che non ci sia umidità di condensa. Nel seguito si accennerà brevemente a quei dispositivi che danno maggiori indicazioni, riferendosi per brevità al numero d'ordine della Tabella.

I dispositivi 3, 4 e 10, relativi all'edilizia scolastica, forniscono indicazioni sulla permeabilità all'aria delle pareti esterne con e senza infissi ed esplicitano la portata d'aria esterna per i diversi ambienti. Anche il dispositivo 2, relativo all'edilizia abitativa, fissa la permeabilità all'aria delle pareti con e senza infissi. I dispositivi 6, 14 e 16, relativi all'edilizia ospedaliera, fissano i valori della portata d'aria esterna per i diversi ambienti, vietano il ricircolo, forniscono un valore limite alla concentrazione dei gas anestetici, che deve essere misurata periodicamente, per la quale impongono l'uso di sistemi di estrazione. I dispositivi 9 e 11, relativi al divieto di fumare, fissano le portate d'aria esterna necessarie perché si possa autorizzare il fumo. Il dispositivo 13, relativo alle autorimesse, prescrive l'obbligo di sensori per misurare la CO e le miscele infiammabili e l'obbligo, a seconda delle dimensioni dei locali, della sola ventilazione naturale o di quella naturale associata a quella forzata per la quale fornisce i valori delle portate d'aria esterna. Il dispositivo 17, relativo agli impianti sportivi, nel caso di ventilazione naturale fissa le dimensioni dei serramenti esterni e nel caso di ventilazione forzata fornisce il valore della portata d'aria esterna. Il dispositivo 18 è l'unico che fa propria una norma: la UNI-CIG 8723.

In attuazione degli obiettivi del Piano Sanitario Nazionale 1998-2000 ed in particolare dell'obiettivo III, è stata istituita (con decreto ministeriale 8 aprile 1998), presso la Direzione Generale della Prevenzione la "Commissione indoor", con il compito di fornire linee di indirizzo tecnico volte a promuovere lo sviluppo di iniziative di prevenzione primaria e secondaria in materia di inquinamento degli ambienti confinati e per l'approfondimento delle conoscenze sulle cause d'inquinamento e del relativo impatto sulla salute.

La predetta Commissione, composta da esperti dell'ISS e dell'ISPESL, ingegneri, architetti, medici del lavoro, igienisti, allergologi, epidemiologi, etc., ha messo a punto un rapporto concernente: *La tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*, in merito al quale è stato acquisito il parere favorevole del Consiglio Superiore della Sanità nella seduta del 15.12.1999. Il rapporto fornisce informazioni fondamentali per la valutazione e gestione, in termini di sanità pubblica, dei rischi per la salute connessi all'inquinamento dell'aria indoor (IAQ) ed indicazioni tecniche per orientare le azioni di prevenzione e controllo di tali rischi.

Sulla base delle indicazioni fornite sono state elaborate le "*Linee Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*", che trasmesse alla Conferenza Stato Regioni per l'adozione sotto la veste giuridica di Accordo, hanno acquisito l'assenso del Governo e dei Presidenti delle regioni e province autonome,

nella seduta del 27.9.2001. Sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 276 del 27 novembre 2001

Alcuni aspetti fondamentali del provvedimento sono stati oggetto di maggiore approfondimento da parte di gruppi tecnici operanti nell'ambito della stessa "Commissione indoor" che ha messo a punto cinque documenti:

- ◆ Guida per la qualità dell'aria nelle abitazioni;
- ◆ Linee guida per l'individuazione dei requisiti impiantistici nelle zone fumatori e per la definizione di protocolli tecnici per gli interventi di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione;
- ◆ Il Piano Nazionale Radon;
- ◆ Linee guida per il controllo delle emissioni di composti organici volatili nei prodotti da costruzione;
- ◆ Criteri per il controllo di qualità dell'aria indoor, relativamente al rischio allergologico, negli ambienti domestici e pubblici. Proposta di un programma specifico per le scuole.

I documenti, già approvati dal Consiglio Superiore del Ministero della Sanità, andranno al più presto alla Conferenza Stato Regioni.

5 - VALUTAZIONE DELL'IAQ

A conclusione si vuole fare il punto sulle metodologie oggi seguite per valutare la qualità dell'aria in ambiente confinato, problematica diventata particolarmente attuale con l'entrata in vigore dei D.Lvi 626/94 e 242/96.

5.1 PROCEDURA CONSOLIDATA

Si consiglia innanzitutto la somministrazione di un questionario, che costituisce un ottimo strumento di screening per quanto riguarda sia le variabili sulle quali indagare sia l'individuazione degli ambienti che presentano problemi.

E' poi consigliabile controllare, mediante misurazione, la concentrazione di inquinanti. Per ottimizzare tempi e costi di esecuzione, va fatto un esame accurato degli ambienti, delle attività che in essi si svolgono e degli arredi e delle macchine in essi contenuti, per valutare quali siano gli inquinanti più probabilmente presenti e che, conseguentemente, devono essere misurati. Per esempio, in un locale interrato o a piano terra va misurata la concentrazione di radon, in un centro di calcolo in cui siano presenti molte stampanti va misurata la concentrazione di ozono, in una classe di un edificio scolastico, o in una sala riunioni in generale, va misurata la concentrazione di CO₂, in un ambiente molto polveroso va misurato il particolato, ecc.

Talvolta l'inquinante da misurare viene suggerito dal questionario. Se ad esempio un certo numero di persone dichiara di avere gola secca e bruciori agli occhi, va misurata l'umidità relativa che potrebbe essere troppo bassa; se le persone dichiarano di avere spesso mal di testa, va misurata la CO₂, ecc.

Tabella 6 – Principali disposizioni legislative nazionali sull'IAQ

n.	Dispositivo	Titolo	Oggetto
1	L. 640/1954	Provvedimenti per l'eliminazione di abitazioni malsane	Abitazioni
2	Circolare M.LL.PP. 22.5.67 n. 3151	Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e illuminazione nelle costruzioni edilizie	Abitazioni
3	Circolare M.LL.PP. 6.3.70 n. 6795	Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e illuminazione nelle costruzioni edilizie	Scuole
4	D.M. 21.3.1970	Norme tecniche relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nell'esecuzione di edilizia scolastica	Scuole
5	D.P.R. 1437/1970	Modificazioni al regolamento per le migliori igieniche negli alberghi	Alberghi
6	Circolare M.LL.PP. 22.11.74 n. 13011	Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ed ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione	Ospedali
7	L. 166/1975	Norme per gli interventi straordinari di emergenza per l'attività edilizia	Abitazioni
8	D.M. 5.7.75	Modificazioni alle istruzioni ministeriali del 20.6.1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali d'abitazione	Ospedali
9	L. 584/1975	Divieto di fumare in determinati locali e su mezzi di trasporto pubblico	Fumo
10	D.M. 18.12.75	Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica	Scuole
11	D.M. 18.05.76	Disposizioni in ordine agli impianti di condizionamento o ventilazione di cui alla legge 11.11.75 n. 584	Fumo
12	D.M. 5.8.77	Determinazione dei requisiti tecnici sulle case di cura private	Ospedali
13	D.M. 20.11.81	Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio delle autorimesse e simili	Autorimesse

Tabella 6 (segue) – Principali disposizioni legislative nazionali sull'IAQ

n.	Dispositivo	Titolo	Oggetto
14	D.P.C.M. 27.6.86	Atto di indirizzo e coordinamento dell'attività amministrativa delle Regioni in materia di requisiti delle case di cura private	Ospedali
15	D.M. 30.7.86	Approvazione di tabelle UNI-CIG, di cui alla legge 1083/71 sulla sicurezza d'impiego del gas combustibile (9° gruppo)	Gas
16	Circolare Ministero della Sanità 14.03.89 n. 5	Esposizione professionale ad anestetici in sala operatoria	Ospedali
17	D.M. 25.8.89	Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio di impianti sportivi	Sport
18	D.M. 21.4.93	Approvazione e pubblicazione delle tabelle UNI-CIG, di cui alla legge 1083/71, recante norme per la sicurezza dell'impiego del gas combustibile (15° gruppo)	Gas
19	D.P.R. 425/1994	Regolamento recante disciplina dei procedimenti di autorizzazione dell'abitabilità, del collaudo statico e d'iscrizione al catasto	Abitazioni
20	D. Lvo 626/1994	Attuazioni alle direttive CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro	Luoghi di lavoro
21	Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna 593/95	Approvazione dello schema di regolamento edilizio tipo	Abitazioni
22	Circolare S.S. Igiene Regione Lombardia 17.3.95	Atto di indirizzo e coordinamento concernente la ventilazione e l'aerazione, la installazione e la gestione degli impianti di climatizzazione ambientale e degli apparecchi di combustione, l'allontanamento dei prodotti della combustione nelle abitazioni di nuova costruzione.	Abitazioni
23	D.Lvo 242/1996	Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 626/94, recante attuazione alle direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro	Luoghi di lavoro

Infine, è consigliabile misurare la portata d'aria esterna; in presenza di un impianto di ventilazione, si può misurare la velocità alla bocchetta di immissione e le dimensioni di questa, purché si conosca esattamente il rapporto di ricircolo. Per quanto detto al punto 2.3, per avere un'idea della portata d'aria esterna che effettivamente va a diluire i contaminanti bisogna anche avere un'idea sulla efficienza della ventilazione. Per queste difficoltà (conoscenza del rapporto di ricircolo e dell'efficienza di ventilazione) è consigliabile servirsi dei metodi a gas traccianti (Liddament, 1996) utilizzabili anche nel caso in cui la ventilazione sia naturale e per la valutazione dell'efficienza della cappe.

5.2 METODO DI FANGER

Fanger partì dal presupposto che negli edifici dove non ci sono problemi legati ad inquinanti pericolosi per la salute, l'entità della ventilazione debba dipendere dalla percezione olfattiva più che dalla concentrazione delle sostanze che si trovano nell'ambiente. Inoltre, egli notò che talvolta elevate percentuali di individui si dichiarano insoddisfatte dalla qualità dell'aria anche se le concentrazioni dei singoli inquinanti sono molto basse.

Fanger (1988, 1989) introdusse così due nuove unità di misura: l'olf e il decipol, al fine di valutare rispettivamente la capacità inquinante (o carico inquinante), G , e la percezione di inquinamento (o inquinamento percepito o anche percezione olfattiva), ζ .

1 olf rappresenta il carico di contaminanti (bioeffluenti) emessi da una persona standard, dove per persona standard si intende una persona in quiete, in condizioni di benessere e mediamente "pulita" (0,7 docce/die) (cfr. Fig. 6). Ogni altra sorgente inquinante può essere poi confrontata con il numero di persone necessarie per dar luogo allo stesso carico contaminante (cfr. Fig. 7) e, secondo Fanger, il carico inquinante complessivo si può ottenere sommando i contributi delle varie fonti.

1 decipol (dp) è il livello di inquinamento percepito in un ambiente in cui vi è una portata di ventilazione di 10 l/s ed un carico inquinante di 1 olf (cfr. Fig. 8).

Fanger fissò poi, in analogia con la (1) ($G \leftrightarrow q; \zeta \leftrightarrow \square C$) la relazione tra il livello di inquinamento percepito, ζ in decipol, e il carico inquinante, G in olf,

$$\zeta = 10 \frac{G}{Q} \quad (4)$$

nella quale la portata di ventilazione, Q , è espressa ovviamente in l/s: per $Q=10$ l/s, e $G = 1$ olf dalla (4) si ha $\zeta = 1$ dp. La (4), se Q è espressa in m^3/h , diventa

$$\zeta = 36 \frac{G}{Q} \quad (5)$$

Tabella 7: Capacità inquinante di alcune fonti . Da (Fanger, 1988; Fracastoro 1998)

Fattore inquinante	Capacità inquinante (olf)
Persona seduta , 1 met	1,0
Persona con attività, 4 met	5,0
Persona con attività, 6 met	11,0
Fumatore (mentre fuma)	25,0
Fumatore (1,2 sigarette/ora)	6,0
Bambino 3-6 anni (2,7 met)	1,2
Studente 14-16 anni (1,2 met)	1,3
Uffici (1 m ²)	0,3
Classi scolastiche (1 m ²)	0,3
Asili (1 m ²)	0,4

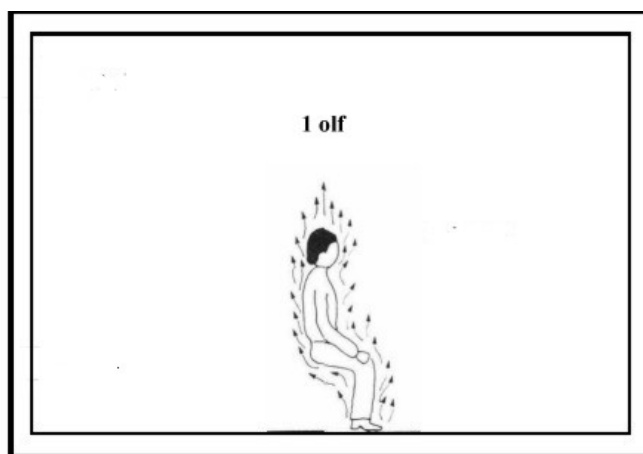


Figura 6 - Carico inquinante di 1 olf. Da (Fanger, 1988).

I valori di capacità inquinante per alcune fonti sono stati ricavati in laboratorio con la (5) dallo stesso Fanger e sono qui riportati nella Tabella 7.

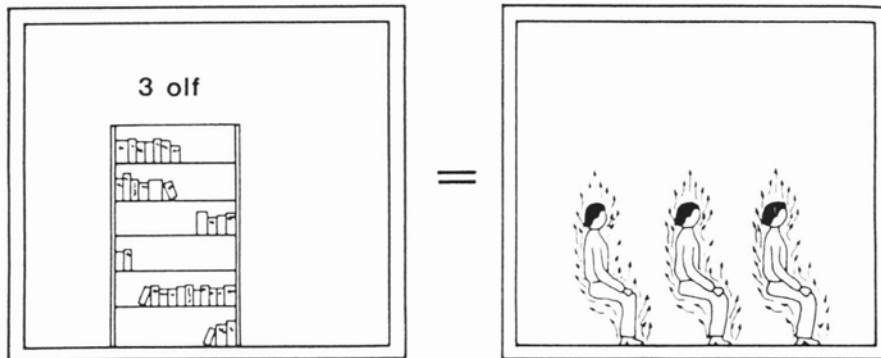


Figura 7 - Numero di persone necessario per causare lo stesso carico inquinante. Da (Fanger, 1988).

Secondo questa teoria, il livello di inquinamento percepito totale ζ prodotto dalla somma di due inquinanti, A e B, è equivalente alla somma dei livelli di inquinamento percepiti ζ_A e ζ_B prodotti separatamente dai due inquinanti e pertanto, anche se le concentrazioni di due inquinanti sono ognuna ben al di sotto del valore ritenuto accettabile, l'effetto complessivo prodotto può non essere accettabile dal punto di vista olfattivo.

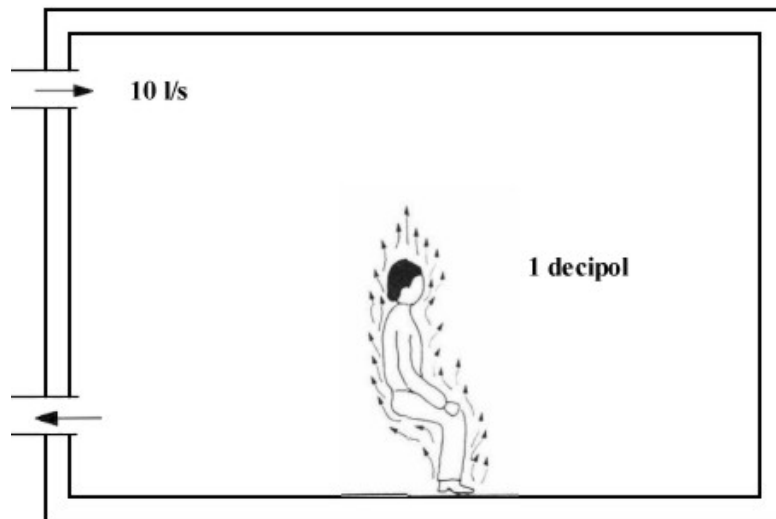


Figura 8 - Definizione di decipol. Da (Fanger, 1988).

L'olf ed il decipol sono evidentemente due grandezze soggettive; per via statistica Fanger ricavò anche la relazione tra la percentuale di persone insoddisfatte dalla

qualità dell'aria, PD, e l'inquinamento percepito, ζ , relazione qui riportata insieme alla relazione inversa:

$$PD = 395 \exp(-3,25 \zeta^{-0,25}) \quad (6)$$

$$\zeta = \frac{112}{[\ln(PD) - 5,98]^4} \quad (7)$$

Con il metodo di Fanger, per valutare la qualità dell'aria interna di un ambiente, innanzitutto va fissata la percentuale massima di insoddisfatti che si vuole ammettere, PD_{lim} e tramite l'equazione (7) si ottiene la massima percezione olfattiva ammessa, ζ_{lim} . Poi, un gruppo addestrato di persone sarà incaricato di quantificare, per confronto con sorgenti standard, l'intensità dell'odore in un campione d'aria prelevato nell'ambiente esaminato. Quantificata la percezione olfattiva, ζ , l'IAQ sarà ritenuta accettabile se:

$$\zeta < \zeta_{lim} \quad (9)$$

La stessa procedura può essere usata in fase di progetto. Infatti, calcolato il carico inquinante totale in olf come somma dei singoli carichi inquinanti, ricavati da tabelle come la 8, e assegnato il valore richiesto di \square , tramite la (4) si può calcolare la necessaria portata di ventilazione.

Il metodo di Fanger, lascia perplessi e trova difficoltà a diffondersi perché richiede l'esistenza di persone che siano addestrate a "sentire", ad "annusare" l'inquinamento esistente. In definitiva questo metodo è analogo a quello ben noto in enologia: la qualità del vino non viene valutata con metodi oggettivi ma tramite persone specificamente addestrate, i sommelier. L'analogia è molto stretta, in quanto per il vino, come per l'aria, è impossibile valutare la qualità misurando la composizione.

Il metodo di Fanger si sta diffondendo nei Paesi Scandinavi ed è comparso anche nel progetto di norma sperimentale europea prENV 1752 (CEN, 1996), che però non è stato approvato essenzialmente per due motivi:

- ◆ la teoria di Fanger si basa sull'assunzione che gli effetti si sommino, escludendo quindi effetti sinergici, punto sul quale molti ricercatori non concordano;
- ◆ i dati sperimentali disponibili di carichi inquinanti, in olf, sono ancora molto pochi.

6 - BIBLIOGRAFIA

Alfano G., Cellai G., Cennini L., Medori G., 1998. Studio sperimentale sulle condizioni igieniche di condotte di impianti di condizionamento. Atti del Convegno Nazionale AICARR 1998, 131-144. Milano.

Alfano G., d'Ambrosio F.R., Riccio G., 2001. An apparatus for measuring ventilation characteristics of grilles for naturally ventilated buildings. Atti "Clima 2000/Napoli 2001 World Congress" – Napoli.

ASHRAE, 1997a. Air Contaminants. In: *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, Cap. 12. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE, 1997b. Ventilation and Infiltration. In: *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, Cap. 25. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE, 1999. Ventilation for acceptable Indoor Air Quality. ASHRAE Standard 62. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Battermann S.A., Burge H., 1995. HVAC System as emission sources affecting indoor air quality: a critical review. *HVAC&R Research*, 61-80.

Bochicchio F., Mc Laughling J.P., Piermattei S., 1995. Radon in indoor air. European Collaborative Action, Indoor Air Quality and its impact on man, Report n. 15. Commissione Europea. Ginevra.

Bochicchio F., 1996. Stime del rischio da radon: stato delle conoscenze e programmi di ricerca. Atti del Convegno "Aria '96", 11-18. Roma.

Burge P.S., Jones P., Robertson A.S., 1995. Sick building syndrome .Proceedings of the 5th Int. Conference on Indoor Air Quality Climate, 479-484. Toronto.

Cellai G., 1997. La progettazione delle condotte dell'aria ai fini della manutenzione. CdA, 715-729 e 789-795.

CEN, 1996. Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment. prENV 1752.

Commission of the European Communities – Directorate for Science, Research and Development – Joint Research Centre – Environment Institute, 1991. Effects of indoor air pollution on human health. Report n. 10.

Commission of the European Communities – Directorate for Science, Research and Development – Joint Research Centre – Environment Institute, 1993. Biological particles in indoor environment. Report n. 12.

Commission of the European Communities – Directorate for Science, Research and Development – Joint Research Centre – Environment Institute, 1997. Evaluation of VOC emissions from buildings products. Report n. 18.

Commission of the European Communities – Directorate for Science, Research and Development – Joint Research Centre – Environment Institute, 1997. Total volatile Organic Compound (TVOC) in indoor air quality. Report n. 19.

De Santoli L., Fracastoro G.V. 1998. *La qualità dell'aria negli ambienti interni. Soluzioni e strategie*. Milano: AICARR.

EPA, 1992. A citizen guide to radon, the guide to protecting yourself and your family (2nd edition). Environmental Protection Agency,

Fanger P.O., 1988. The olf and the decipol. ASHRAE Journal, 30, 35-38.

Fanger P.O., 1989. Gli olf nascosti negli edifici insalubri. CdA, 33, 1486-1490.

Fracastoro G.V. 1997. Qualità dell'aria. In: *Impianti di climatizzazione per l'edilizia. Dal progetto al collaudo* (Alfano G., Filippi M., Sacchi E. eds.), 46-65. Milano: Masson.

Filippi M., Bo M. 1990. La distribuzione dell'aria in ambiente. Atti del Convegno Nazionale dell'AICARR “ La qualità dell'aria interna per il benessere dell'uomo”, 85-114. Milano: AICARR

Liddament M.W. 1996. *A guide to energy efficient ventilation*. Coventry (U.K.): Air Infiltration Ventilation Centre.

Maroni M. 1998. *Salute e qualità dell'aria negli edifici*. Milano: Masson.

Patania F., 1995. Origini, patologie e controllo dell'inquinamento da radon. CdA, 1160-1168 e 1247-1255, Milano.

Raffellini G., Cellai C., 1997. La distribuzione dell'aria In: *Impianti di climatizzazione per l'edilizia. Dal progetto al collaudo* (Alfano G., Filippi M., Sacchi E. eds.), 521-544. Milano: Masson