



Microclima e inquinamento “indoor”

Premessa

Il microclima è l'insieme dei fattori (temperatura, umidità, velocità dell'aria, calore radiante) che regolano le condizioni climatiche di un ambiente chiuso o semi-chiuso come ad esempio un ambiente di lavoro.

Considerando che la maggior parte della popolazione urbana trascorre il 75-80 % del tempo all'interno di edifici chiusi, è facilmente intuibile quale importanza rivesta la qualità del microclima per il benessere dell'uomo.

Il corpo umano, per le sue caratteristiche termiche, può essere paragonato ad una macchina termica alimentata da combustibili sotto forma di alimenti che vengono trasformati parte in lavoro (10-20%) e in massima parte in calorie (80-90%). Essendo, poi, costretto a mantenere costante la sua temperatura interna, cioè quella degli organi più importanti (sistema nervoso centrale, cuore, polmoni, ecc.), deve essere in grado di dissipare nell'ambiente il calore metabolico che viene prodotto in eccesso, specie quando si incrementa il lavoro meccanico muscolare o si riduce la cessione di calore se in ambienti caldo umidi.

La quantità di calore prodotto da un individuo a completo riposo è di circa 1,2 Kcal/min, corrispondente a circa 70 Kcal/ora ed a 1700 Kcal/giorno (*metabolismo di base*), corrispondente cioè al consumo energetico di base per la normale attività degli organi viscerali (60%) e dei muscoli (20%).

Nel corso di qualsiasi attività fisica si ha un aumento della produzione di calore proporzionale al tipo di attività svolta, si parla così di **lavoro moderato** quando è richiesto un dispendio energetico non superiore a 2,5 Kcal/min, **lavoro medio** compreso tra 2,5 Kcal/min e 5 Kcal/m, **lavoro pesante** se superiore a 5 Kcal/min.





La termodispersione

L'eccessivo calore prodotto viene smaltito quasi esclusivamente per via cutanea attraverso vari meccanismi fisiologici:

Conduzione-Convezione

- Il corpo cede calore a tutto ciò cui è strettamente a contatto: vestiti, aria che ci circonda; quest'ultima a sua volta riscaldandosi va verso l'alto richiamando altra aria più fresca che a sua volta viene riscaldata e così via. È evidente che se la temperatura dell'aria è elevata questo meccanismo si annulla, potendo così diventare negativo e indurre un riscaldamento nella cute (superando i 30-32 °C di T ambientale). Con questo meccanismo il corpo cede dal 25 al 30% del calore.

Irraggiamento

- Il corpo umano è in grado di emanare calore mediante onde elettromagnetiche trasferendo così energia termica verso corpi più freddi (pareti, mobili, etc). Con questo meccanismo si riesce ad eliminare il 45-50% di tutto il calore prodotto. Anche questo meccanismo risente però dello stato termico degli oggetti circostanti: in presenza di forti fonti di calore (caldaie, forni di fonderie, etc), l'irraggiamento può diventare negativo, cioè il corpo può surriscaldarsi per l'elevato calore proveniente da queste fonti.

Evaporazione

- Consiste nel passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso (1 gr. d'acqua evaporato a 30 °C sottrae al corpo 0,58 Kcal.)
L'evaporazione interviene quando la temperatura ambiente raggiunge i 35 °C, quando cioè viene a cessare la termodispersione con le modalità della conduzione-convezione e dell'irraggiamento.

È un meccanismo che avviene attraverso queste tre modalità fisiologiche: l'espirazione, la perspiratio insensibilis (in riposo ed a temperatura bassa), la sudorazione (nel lavoro muscolare e a temperatura elevata).

- *Espirazione*: si verifica durante la normale respirazione quando l'aria inspirata è di temperatura inferiore a quella corporea, mentre l'aria espirata abbandona i polmoni con una temperatura di 33-34 °C ed una saturazione in vapore d'acqua al 100%.

- *Perspiratio Insensibilis*: consiste nella evaporazione costante ed autonoma dalla pelle e dalle mucose che si svolge indipendentemente dalla funzione delle ghiandole sudoripare. Questo meccanismo comporta una scarsa ma persistente evaporazione dalla superficie cutanea: essa fa perdere in media nel corso di un'ora 25 gr di acqua, con una sottrazione di 14,5 Kcal/ora.

- *Sudorazione*: con la sudorazione invece si può avere facilmente la perdita di 1 litro di sudore per ora. Essa entra in gioco nel momento in cui la produzione calorica (lavoro fisico in ambiente caldo), supera la perdita delle precedenti modalità di termodispersione.

Quanto più l'aria ambiente è satura di umidità tanto minore è l'evaporazione; tanto più elevata è la velocità dell'aria tanto più essa è favorita.

L'evaporazione interviene nella misura del 20-30% della quota globale di calore che l'organismo può disperdere.





La situazione termica di un organismo può quindi essere rappresentata mediante la sua equazione di bilancio termico (BT) che, nella sua forma semplificata, viene espressa nel seguente modo:

$$BT = M \pm C \pm R - E (*)$$

(*) dove:

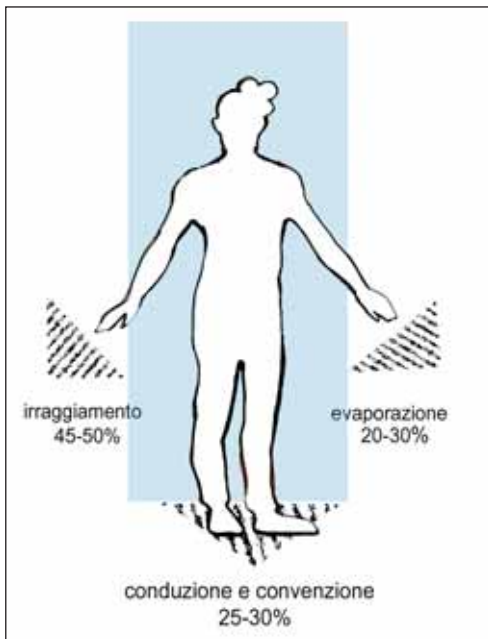
M= calore metabolico prodotto dall'organismo. Può essere distinto nelle due componenti: metabolismo basale e dispendio energetico associato alla specifica attività lavorativa.

C= quantità di calore scambiata per CONVEZIONE-CONDUZIONE

R= quantità di calore scambiata per IRRAGGIAMENTO.

E= quantità di calore dissipata attraverso l'EVAPORAZIONE del sudore.

Il calore metabolico M è sempre e soltanto positivo, quello di evaporazione è sempre negativo, mentre il calore di convezione C e quello di irraggiamento R possono essere alternativamente di segno + o - a seconda che gli scambi termici siano rispettivamente diretti dall'ambiente all'uomo o viceversa. Trascurabile la quantità di calore scambiata per conduzione.



Quando il bilancio termico è uguale a zero ($BT=0$) si ha la condizione ideale di *omeotermia*, cioè la stabilità dell'equilibrio termico.

Se il bilancio termico supera lo zero ($BT>0$) la temperatura corporea aumenta; se il bilancio termico è inferiore a zero ($BT<0$) la temperatura corporea tende a diminuire.

Per cercare di mantenersi vicino alla neutralità termica, l'organismo attua dei meccanismi di compenso, sotto il diretto controllo di zone ipotalamiche, che permettono di aumentare la quota di calore che viene ceduta (vasodilatazione cutanea, riduzione del vestiario, riduzione dell'attività fisica, etc.) o di ridurla (vasocostrizione cutanea, aumento del vestiario, aumento dell'attività fisica).

Perdurando condizioni climatiche incongrue l'ipotalamo stimola il sistema endocrino verso una maggiore o minore increzione di ormoni (specialmente tiroidei) che provvedono a modificare i processi metabolici.

Quando l'equilibrio termico viene mantenuto con un minimo sforzo da parte dei sistemi di termoregolazione, le corrispondenti condizioni microclimatiche possono essere definite di **benessere termico** e l'individuo non avverte né freddo né caldo, ma esprime soddisfazione per la propria situazione termica.





Con il termine di **disconfort termico** o disagio si intendono quelle condizioni microclimatiche che danno luogo alla sensazione di caldo o di freddo (che già richiedono un impegno dei meccanismi di termoregolazione).

Si parla di **stress termico** o **scompenso** quando l'organismo non riesce più a mantenere costante la T interna potendo sfociare verso uno stato di vera e propria malattia (colpo di calore, esaurimento, congelamento, assideramento).

Un ambiente di lavoro confortevole deve avere una temperatura tale da consentire ai lavoratori di compiere la propria attività senza alcun pericolo per la propria salute.

Abbiamo anche altri fattori che possono condizionare il benessere termico dell'individuo come per esempio: il vestiario indossato, il tipo di attività svolta nel lavoro, la percezione soggettiva del caldo o del freddo.

Il corpo umano ha una temperatura interna costante di circa 37 gradi °C, condizione necessaria a garantire il regolare svolgimento di tutti i processi biochimici all'interno dell'organismo e quindi la vita stessa. Variazioni della temperatura oltre i normali limiti determinano sofferenze delle principali funzioni fisiologiche con ripercussioni più o meno gravi sulle capacità lavorative e, in condizioni estreme, manifestazioni patologiche.

Non esistono al momento attuale delle norme precise che prevedano dei valori standard delle variabili microclimatiche salvo che per alcune lavorazioni particolari; viene sempre prospettata la necessità generica di assicurare ai lavoratori un certo benessere termico anche in funzione del lavoro svolto.

Dal punto di vista igienistico vengono considerate delle fasce di benessere termico nell'ambito delle quali l'organismo ha minori necessità di correzioni, differenti a seconda delle stagioni:

- 20-25 °C per la T dell'aria;
- 50-60 % per l'umidità relativa;
- 0,05-0,2 m/s per la ventilazione.

In generale si considerano adeguati per l'uomo valori di temperatura in inverno intorno ai 20 °C ed in estate dagli 8 ai 3 °C in meno della temperatura esterna, in funzione di un tempo di permanenza nel locale più o meno lungo; per quanto riguarda l'umidità relativa si cerca di mantenerla tra il 40-60% al fine di evitare l'essiccamento delle vie respiratorie o la condensa sulle superfici fredde (finestre) dei locali.

Negli ambienti dove il riscaldamento è fornito da radiatori o apparecchi simili si verifica una progressiva diminuzione dell'umidità relativa; è pertanto importante provvedere all'installazione di umidificatori idonei che riequilibrino il contenuto dell'umidità dell'aria (ad esempio le vaschette colme d'acqua poste sui radiatori, la presenza delle piante, i vaporizzatori ad elettricità).

Nei luoghi di lavoro chiusi è necessario far sì che tenendo conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici ai quali sono sottoposti i lavoratori, essi dispongano di aria salubre in quantità sufficiente. L'aria dei locali chiusi di lavoro deve essere, perciò, convenientemente e frequentemente rinnovata.



Se viene utilizzato un impianto di aereazione, esso deve essere mantenuto funzionante. Ogni eventuale guasto deve essere segnalato.

Se sono utilizzati impianti di condizionamento dell'aria o di ventilazione meccanica, essi devono funzionare in modo che i lavoratori non siano esposti a correnti d'aria fastidiose e/o dirette.

Gli impianti di condizionamento devono garantire:

- un effettivo ricambio di aria in termini di volume;
- l'immissione di aria pura nell'ambiente di lavoro;
- una disposizione delle bocche di immissione dell'aria esterna e di quelle di ripresa, tale da evitare qualsiasi contaminazione.

Per quanto riguarda un effettivo ricambio di aria nei posti di lavoro è necessario disporre di molte bocche di immissione ad esempio mediante controsoffittature forate. Le bocchette di ripresa devono essere dotate di un sistema aspirante e disposte in modo tale da garantire un effettivo ricambio dell'aria ambientale (per es. in basso in prossimità del pavimento). Infine, le prese d'aria esterne devono essere localizzate lontano da possibili fonti di inquinamento (per es. lontano dalla superficie stradale) e dotate di un sistema filtrante.

La manutenzione sugli impianti deve essere tale da poterne garantire la conservazione di questi nelle migliori condizioni di pulizia ed efficienza. In ambienti tipo ufficio i filtri vanno puliti ogni sei mesi.

Misura delle caratteristiche fisiche del microclima

È abbastanza facile al giorno d'oggi poter misurare le variabili del microclima sia singolarmente che in modo integrato.

La temperatura si misura mediante comuni *termometri ad alcool* o a *mercurio*.

La ventilazione mediante *anemometri a filo caldo*.

Per l'umidità è comune l'uso di *igrometri* o di un *sistema a doppio termometro*, il bulbo di uno tenuto umido.

Per il calore radiante viene utilizzato il *globo termometro* (è costituito da un termometro a mercurio che è incorporato in una sfera di rame annerita).

Sistemi elettronici più moderni e completi (*centraline microclimatiche*) consentono il rilievo contemporaneo dei vari parametri e l'integrazione dei vari valori anche nel tempo.

In molti articoli di varie leggi e decreti sono comunque date delle indicazioni generiche circa le caratteristiche del microclima negli ambienti di lavoro.





<p>Art. 2087 cod.civ.</p>	<p>Obbligo per il datore di lavoro di “adottare le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l’esperienza e la tecnica sono necessarie a tutelare l’integrità fisica e la personalità morale dei lavoratori”</p>
<p>Art. 10 Legge 864/70</p>	<p>Nei locali utilizzati dai lavoratori deve essere mantenuta la temperatura più confortevole e più stabile possibile in relazione alle circostanze</p>
<p>Allegato I, punto 7.1 direttiva CEE 89/654</p>	<p>La temperatura dei locali di lavoro deve essere adeguata all’organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori</p>
<p>Allegato, punto 16.6.1 direttiva CEE 92/104</p>	<p>Nei luoghi di lavoro chiusi occorre provvedere affinché, in relazione ai metodi di lavoro in uso ed all’entità delle sollecitazioni fisiche a carico dei lavoratori, questi ultimi dispongano di sufficiente aria fresca</p>
<p>Art.7 comma 1 DPR 303/56 modificato dal D.Lgs 626/94</p>	<p>A meno che non sia richiesto diversamente dalle necessità della lavorazione, è vietato adibire a lavori continuativi i locali chiusi che non abbiano le seguenti caratteristiche:</p>
<p>Art. 9 DPR 303/56 modificato dal D.Lgs 626/94</p>	<ul style="list-style-type: none"> • buona difesa contro gli agenti atmosferici • isolamento termico sufficiente • aperture sufficienti per un rapido ricambio d’aria ben asciutti e ben difesi contro l’umidità
<p>Art. 11 DPR 303/56 modificato dal D.Lgs 626/94</p>	<p>Nei luoghi di lavoro chiusi i lavoratori devono disporre di aria salubre in quantità sufficiente, l’eventuale impianto di aerazione deve essere sempre mantenuto efficiente e si devono evitare correnti d’aria fastidiose</p>
<p>Art 11 DPR 303/56 modificato dal D.Lgs 626/94</p>	<p>Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l’ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi di protezione individuali</p>

Tabella 1





Ambienti termici

Convenzionalmente gli ambienti termici vengono distinti in:

- 1) AMBIENTI MODERATI
- 2) AMBIENTI CALDI
- 3) AMBIENTI FREDDI

Gli **ambienti moderati** sono principalmente caratterizzati da un moderato grado d'intervento alla termoregolazione corporea e in cui risulta facilmente realizzata la condizione di omeotermia (mantenimento costante della T interna) del soggetto.

In concreto tali ambienti sono caratterizzati da:

- condizioni ambientali piuttosto omogenee e con ridotta variabilità nel tempo;
- assenza di scambi termici localizzati fra soggetto ed ambiente che abbiano effetti rilevanti sul bilancio termico complessivo;
- attività fisica modesta e sostanzialmente analoga per i diversi soggetti;
- uniformità del vestiario indossato dai diversi operatori.





Gli **ambienti caldi** sono caratterizzati da un notevole intervento del sistema di termoregolazione umano al fine di diminuire l'accumulo di calore nel corpo.

L'azione termoregolatrice si esplica, come già accennato, primariamente sul piano fisiologico mediante i meccanismi di vasodilatazione dei vasi sanguigni cutanei (con aumento della temperatura della cute) e di sudorazione.

Le caratteristiche degli ambienti caldi sono:

- valori elevati di temperatura in relazione alle caratteristiche dell'attività svolta e del vestiario indossato dagli operatori;
- possibili alti valori di umidità relativa dell'aria e richiedenti un considerevole scambio termico per sudorazione al fine di conservare l'omeotermia;
- variabilità della temperatura e dell'umidità da postazione a postazione di lavoro;
- disuniformità del livello di impegno fisico richiesto e del vestiario indossato dagli operatori.

Gli **ambienti freddi** sono caratterizzati da condizioni che richiedono un sensibile intervento del sistema di termoregolazione umano per limitare la potenziale eccessiva diminuzione della temperatura caratteristica dei diversi distretti ed in particolare del nucleo corporeo. L'azione termoregolatrice si traduce sul piano fisiologico nella vasoconstrizione dei capillari cutanei, che comporta una diminuzione della temperatura della cute e nell'incremento della produzione di calore per via metabolica (di cui i brividi e l'orripilazione ne sono segni evidenti).

In concreto e con specifico riferimento alle attività lavorative, gli ambienti freddi presentano i seguenti aspetti fondamentali:





- valori di temperatura bassi (indicativamente compresi fra 0 e 10°C per ambienti moderatamente freddi e inferiori a 0°C per ambienti freddi severi);
- contenuta variabilità spaziale e temporale delle condizioni;
- attività fisica e tipologia del vestiario indossato abbastanza uniformi.



Indici microclimatici

La sensazione soggettiva di benessere non dipende da uno solo dei relativi fattori ambientali (temperatura, umidità, velocità dell'aria, ecc.), bensì dalla loro combinazione. Per esprimere questo concetto, sono stati quindi studiati vari indici microclimatici che sono l'espressione della correlazione tra parametri ambientali e sensazioni soggettive di benessere o disagio termico, ricavate da un gran numero di esperienze sperimentali in camere climatiche.

Tra i numerosi indici proposti gli **Indici di Fanger**, attualmente, sono tra i più utilizzati per la determinazione di un ambiente accettabile per lavori sedentari; essi consentono di poter valutare le condizioni microclimatiche di un ambiente di lavoro in funzione del giudizio (caldo, freddo, confortevole) espresso dai soggetti in esame e del loro eventuale disagio termico.

Se il complesso di fattori:

- **resistenza termica del vestiario**
- **attività fisica svolta**
- **parametri ambientali oggettivi**





è tale da soddisfare l'equazione del benessere termico per una popolazione numerosa di soggetti, è ragionevole attendersi che mediamente i soggetti stessi esprimeranno una valutazione di piena accettazione nei confronti dell'ambiente termico.

In caso contrario, nascerà una insoddisfazione che potrà essere apprezzata qualitativamente, ad esempio, mediante una scala di sensazioni.

Gli indici di Fanger sono il **PMV** ed il **PPD**.

- **PMV** (*predicted mean vote o voto medio previsto*): esprime un voto medio previsto per la sensazione di benessere termico di un campione di soggetti posti nel medesimo ambiente, i quali esprimono la propria sensazione termica soggettiva attraverso una scala psicofisica comprendente sette voci.

Il PMV risulta un indice particolarmente adatto alla valutazione di ambienti lavorativi a microclima moderato, quali abitazioni, scuole, uffici, laboratori di ricerca, ospedali, ecc.

VOTO	GIUDIZIO
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Fresco
-2	Freddo
-3	Molto freddo

Tabella 2

- **PPD** (*predicted percentage of dissatisfied o percentuale prevista di insoddisfatti*): individuato il valore medio della sensazione termica espressa dalla popolazione di soggetti nei confronti dell'ambiente (PMV), Fanger ha correlato tale valore numerico al grado di insoddisfazione dei soggetti stessi individuando la percentuale di presumibili soggetti insoddisfatti associata ad ogni valore dell'indice PMV compreso tra +3 e -3.

Questi due indici, strettamente correlati tra loro, consentono di poter valutare le condizioni microclimatiche di un ambiente di lavoro in funzione del giudizio (caldo, freddo, confortevole) espresso dai soggetti in esame e del loro eventuale disagio termico.

Viene definito "**soggetto insoddisfatto**" quello che, nell'ambiente in esame si dichiarerebbe decisamente insoddisfatto, ossia voterebbe -3, -2 oppure +2, +3.

La correlazione tra l'indice PMV e PPD è stata elaborata sulla base di ricerche sperimentali che hanno coinvolto complessivamente circa 1300 soggetti indossanti abiti leggeri ed esposti per tre ore consecutive negli ambienti climatizzati in prova.

Dall'esame di tali ricerche è emerso che anche in corrispondenza del valore medio (PMV=0) esiste comunque una percentuale pari al 5% di soggetti insoddisfatti, ossia che



voterebbero -3, -2, +2, +3; la percentuale di insoddisfatti cresce rapidamente man mano che il valore dell'indice PMV si discosta da zero.

La norma ISO 7730, tenendo conto che il mantenimento di un valore di $PMV=0$ in permanenza nei diversi punti di un ambiente è un livello difficilmente raggiungibile sul piano tecnico, propone come obiettivo concreto da raggiungere negli ambienti di lavoro per il benessere dei lavoratori il range:

PMV=-0,5 e PMV=+0,5

Tale requisito, insieme al controllo dei fattori di disagio termico, dovrebbe consentire il raggiungimento di un valore $PPD=10\%$ e il contenimento della percentuale reale di insoddisfatti al di sotto del 20%.

In conclusione un ambiente viene definito in condizioni di benessere termico per valori di $PMV \pm 0,5$ e PPD minore del 10%, mentre *le condizioni microclimatiche sono accettabili se la percentuale degli insoddisfatti non supera il 20%*.

PMV	PPD%	VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO
+3	100	Molto caldo
+2	75,7	Caldo
+1	26,4	Leggermente caldo
+0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
+0,5 < PMV < -0,5	<10	Benessere termico
-0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
-1	26,8	Fresco
-2	76,4	Freddo
-3	100	Molto freddo

Tabella 3





Qualità dell'aria Indoor (IAQ, INDOOR AIR QUALITY)

L'espressione “ambiente indoor” è riferita agli ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali (per quelli industriali vige una specifica normativa restrittiva), ed in particolare, a quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto. Secondo questo criterio, il termine “ambiente indoor” comprende: le abitazioni, gli uffici pubblici e privati, le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, etc.), i locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, etc.) ed infine i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, etc.).

In Italia, a seguito della crisi delle risorse energetiche mondiali, si sono imposti nuovi criteri tecnico-progettuali per gli edifici ad uso civile. La necessità di contenere i consumi per il riscaldamento e per la ventilazione ha imposto un migliore isolamento degli edifici, con conseguente stimolo a sigillare gli ambienti interni ed a sostituire le modalità naturali d'aerazione ed illuminazione con mezzi artificiali. Alle trasformazioni strutturali degli edifici si sono accompagnate modifiche rilevanti degli arredi (nuovi materiali per mobili, rivestimenti, etc.) e degli strumenti di lavoro (crescente impiego di fotocopiatrici, videoterminali, stampanti, etc.). Infine, il fumo di sigaretta ed il radon sono importanti cause che determinano modificazioni dell'ambiente indoor.





Relazione inquinamento Indoor-Outdoor

Per una valutazione corretta dell'esposizione personale agli inquinanti dell'aria è necessaria la caratterizzazione dell'esposizione personale complessiva ad agenti aereo-dispersi, che tenga conto sia dell'esposizione negli *ambienti indoor* che dell'esposizione che si verifica all'esterno (*ambiente outdoor*).

<p>OSSIDI DI AZOTO OSSIDI DI ZOLFO OSSIDI DI CARBONIO OZONO</p>	<p>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC) PARTICOLATO SOSPESO TOTALE (PST) POLLINI MICRORGANISMI (MUFFE, BATTERI, FUNGHI)</p>
--	--

Tabella 4 - Principali inquinanti presenti nell'aria esterna



Dei numerosi inquinanti considerati dalle leggi vigenti, soltanto l'ozono ed il biossido di zolfo sono prevalenti nell'aria atmosferica.

I livelli di concentrazione che tali inquinanti raggiungono all'interno degli edifici generalmente sono uguali o superiori a quelli dell'aria esterna e soprattutto le esposizioni indoor sono maggiori di quelle outdoor, principalmente perché la quantità di tempo trascorso dalle persone all'interno degli edifici, rispetto a quello trascorso all'esterno, è di un ordine di grandezza maggiore.





Definizione del problema

L'inquinamento dell'aria degli ambienti confinati rappresenta un problema per la sanità pubblica, con grandi implicazioni sociali ed economiche, per molteplici motivi. In primo luogo, per la prolungata permanenza della popolazione negli ambienti interni di varia natura (casa, lavoro, svago, mezzo di trasporto), in secondo luogo perché il rischio espositivo non è limitato a categorie ben definite (come per il rischio esclusivamente professionale, od occupazionale), ma, oltre ad interessare una parte estesa della popolazione, risulta di particolare gravità per alcuni gruppi più suscettibili quali bambini, anziani e persone già affette da patologie croniche (malattie cardiache, respiratorie, asma bronchiale, allergie) che trascorrono negli ambienti chiusi una percentuale di tempo particolarmente elevata. Inoltre, molte malattie croniche sono correlate a diversi aspetti dell'IAQ, perciò il danno economico e sociale attribuibile all'inquinamento indoor in Italia è verosimilmente rilevante.

La presenza di numerosi inquinanti, in primo luogo il fumo passivo e il clima caldo umido delle abitazioni (favorente la crescita degli acari e di funghi nella polvere domestica), hanno sicuramente contribuito all'aumento dell'incidenza e della prevalenza di patologie respiratorie croniche, come l'asma, ed all'incremento della loro evoluzione verso forme persistenti, gravi ed invalidanti.

Gli studi scientifici di questi ultimi anni hanno messo in luce che alcuni inquinanti sono in grado di contribuire all'aumento d'incidenza di tumori maligni. Un maggior rischio di cancro al polmone è stato associato all'esposizione al fumo di tabacco ambientale (Environmental tobacco smoke, ETS) ed ai prodotti di decadimento del radon sulla base d'indagini epidemiologiche sulla popolazione.

Come è evidenziato nel Piano Sanitario Nazionale 1998-2000, il 5-20% annuo dei casi di neoplasia polmonare osservati (circa 1500-6000) nella popolazione italiana è attribuibile all'esposizione a radon.

Una gran parte di questi tumori colpisce probabilmente i fumatori, a causa dell'effetto sinergico tra radon e fumo. Va però rilevato che sussistono ancora incertezze rilevanti sul rischio per i non fumatori e sull'interazione tra radon e fumo passivo. Per quanto riguarda l'esposizione al fumo di tabacco (ETS), si stima che i non fumatori, che vivono a contatto con fumatori, sviluppino un rischio di cancro al polmone aumentato del 30%, se confrontati con la popolazione non esposta.

Inoltre, molti composti chimici presenti nell'aria *indoor* sono noti e sospettati di causare irritazione o stimolazione dell'apparato sensoriale e possono dare vita a un senso di disagio sensoriale e ad altri sintomi comunemente presenti nella cosiddetta **“Sindrome da Edificio Malato”** (Sick Building Syndrome). Studi condotti in uffici e in altri edifici ad uso pubblico in diversi paesi hanno rivelato una frequenza di disturbi, tra gli occupanti, compresa tra il 15 e il 50%.



Sorgenti d'inquinamento Indoor

Gli inquinanti *indoor* sono numerosi e possono essere originati da diverse sorgenti: le concentrazioni sono molto variabili nel tempo, secondo le sorgenti interne, la ventilazione e le abitudini degli occupanti. Le sorgenti d'inquinamento interno che rilasciano inquinanti nell'aria costituiscono la causa primaria dei problemi relativi alla qualità dell'aria indoor. Le principali fonti sono *l'uomo e le sue attività, i materiali da costruzione, gli arredi, i sistemi di trattamento dell'aria.*

Molte attività degli occupanti contribuiscono ad inquinare l'aria degli ambienti chiusi; uno dei fattori più importanti è, come già detto, sicuramente il *fumo di tabacco*, oltre ai processi di combustione. Altre possibili fonti di inquinamento sono i *prodotti per la pulizia e la manutenzione della casa, gli antiparassitari e l'uso di colle, adesivi, solventi, etc.* Possono determinare un'emissione importante di sostanze inquinanti l'utilizzo di strumenti di lavoro quali *stampanti, plotter e fotocopiatrici e prodotti per l'hobbistica (es.colle).*

Un'altra fonte d'inquinamento indoor sono i *materiali utilizzati per l'arredamento* (es. mobili fabbricati in truciolato o trattati con antiparassitari, moquette, rivestimenti).

Infine, il malfunzionamento del sistema di ventilazione o un'errata collocazione delle prese d'aria in prossimità d'aree ad elevato inquinamento (es. vie ad alto traffico, parcheggio sotterraneo, autofficina) possono determinare un'importante penetrazione dall'esterno d'inquinanti. I *sistemi di condizionamento* dell'aria possono, inoltre, diventare terreno di coltura per muffe e altri contaminanti biologici e diffondere tali agenti in tutto l'edificio.

- Persone, per effetto del loro metabolismo (bioeffluenti)
- Animali domestici
- Fumo di tabacco
- Cibi e loro cottura
- Apparecchiature (p.e. fotocopiatrici, stampanti)
- Prodotti per la pulizia (detersivi, prodotti per l'igiene personale)
- Materiali edilizi
- Arredi edilizi
- Impianto di climatizzazione

Tabella 5 - Fonti degli inquinanti Indoor





Gli inquinanti che possono essere presenti negli ambienti confinati non industriali possono essere suddivisi in tre categorie: **chimici, fisici e biologici**.

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, moquette), 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.
Microrganismi	Uomo, animale, polvere, impianti di climatizzazione.

Tabella 6 - Principali inquinanti indoor e loro fonti più diffuse

Inquinanti chimici

Ossidi di Azoto

Le principali fonti indoor di ossidi d'azoto sono costituite da radiatori a cherosene e radiatori a gas privi di scarico esterno e dal fumo di tabacco. I valori più elevati sono generalmente rilevati nelle cucine.

In presenza di stufe e fornelli a gas il valore più frequente del rapporto tra concentrazione indoor e outdoor è tra 2 e 3 e raggiunge circa 5 nel caso di sistemi di riscaldamento e fornelli a gas con ventilazione e scarico all'esterno inefficienti.





Ossido di Zolfo

Le principali fonti di ossidi di zolfo negli ambienti indoor sono costituite da radiatori a cherosene, da stufe e radiatori a gas privi di scarico e dal fumo di tabacco.

Monossido di carbonio

I livelli di monossido di carbonio sono significativamente influenzati dalla presenza di processi di combustione, quali sistemi di riscaldamento e cottura senza ventilazione o con scarsa ventilazione e fumo di tabacco; in questi casi le concentrazioni interne possono superare quelle esterne. La vicinanza di sorgenti *outdoor* (ad esempio, strade ad elevato traffico, garage e parcheggi) possono avere un impatto significativo sulle concentrazioni all'interno di edifici.

Ozono

La quota proveniente dall'esterno rappresenta generalmente la maggior parte dell'ozono presente nell'aria interna, tuttavia, in un ambiente confinato può essere emesso in maniera significativa da strumenti elettrici ad alto voltaggio, quali *motori elettrici*, *stampanti laser* e *fax*, da apparecchi che producono raggi ultravioletti, da filtri elettronici per pulire l'aria non correttamente installati o senza adeguata manutenzione.

Composti Organici Volatili (VOC)

Negli uffici, importanti fattori sono sicuramente il *fumo di sigaretta* e gli strumenti di lavoro quali *stampanti* e *fotocopiatrici*. Altre importanti fonti di inquinamento sono i materiali di costruzione e gli arredi (es. mobili, moquette, rivestimenti) che possono determinare emissioni continue durature nel tempo (settimane o mesi): importanti concentrazioni di VOC sono riscontrabili in particolare nei periodi immediatamente successivi alla posa dei vari materiali o all'installazione degli arredi. Possono determinare un'emissione importante, anche se di breve durata nel tempo, il funzionamento di dispositivi di riscaldamento e l'uso di materiali di pulizia e di prodotti vari (es. colle, adesivi, solventi). Un'errata collocazione delle prese d'aria in prossimità di aree ad elevato inquinamento (es. vie ad alto traffico, parcheggio sotterraneo, autofficina) possono determinare un'importante penetrazione di VOC dall'esterno.

Particolato Aerodisperso

Negli ambienti indoor il particolato è prodotto principalmente dal fumo di sigaretta, dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti. La composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e alle condizioni in cui





avviene la combustione. L'esame del particolato fine raccolto all'interno ed all'esterno di abitazioni e edifici ha consentito di verificare la presenza di n-alcani, acidi grassi (palmitico e stearico), esteri ftalati.

Benzene

Per quanto concerne specificatamente gli ambienti interni degli edifici, le sorgenti di maggior rilievo sono i prodotti di consumo, come adesivi, materiali di costruzione e vernici. Il fumo di una sigaretta contiene un quantitativo di benzene significativo e considerevolmente variabile.

Numerosi studi indicano che il contributo di sorgenti *indoor* di benzene, non ultimo il fumo di tabacco, ma anche il rilascio da materiali, da prodotti di consumo e l'impatto di parcheggi interni agli edifici può essere rilevante, con i valori più elevati attribuibili in linea di massima ad elevate quantità di fumo di tabacco.

Formaldeide

La formaldeide è un composto organico in fase vapore che oltre ad essere un prodotto della combustione, è anche emesso da resine urea-formaldeide usate per l'isolamento (cosiddette UFFI) e da resine usate per truciolato e compensato di legno, per tappezzerie, moquette e per altro materiale da arredamento. Concentrazioni particolarmente elevate sono state osservate in certe situazioni, quali in case prefabbricate ed in locali con recente posa di mobili in truciolato o moquette.

Idrocarburi Aromatici Policiclici (IPA)

Le sorgenti principali sono le fonti di combustione (es. caldaie a cherosene) ed il fumo di sigaretta. I dati di letteratura disponibili sull'esposizione indoor ad IPA sono piuttosto scarsi e, in maggioranza, si riferiscono a situazioni ambientali non confrontabili con quelle italiane per le differenze nei combustibili per il riscaldamento e la cucina.

Fumo di Tabacco Ambientale(ETS)

Il fumo di tabacco è oggi considerato uno dei principali inquinanti all'interno degli spazi confinati. È altamente tossico per il fumatore, ma è ormai certa la sua responsabilità come agente nocivo anche per i soggetti che lo respirano passivamente. Il fumo «ambientale» respirato dal fumatore passivo è la somma di due diversi tipi di fumo: quello della corrente centrale della sigaretta (fumo mainstream - MS), espirato dal fumatore attivo nell'aria ambientale ad ogni boccata, e quello della corrente laterale (fumo sidestream - SS) che si sprigiona dall'estremità accesa della sigaretta nell'intervallo tra una boccata e l'altra.





Dal punto di vista tossicologico, pur essendoci una stretta somiglianza nella composizione chimica tra i due tipi di fumo, l'abbassamento di temperatura che si verifica nel processo di generazione del fumo laterale, fa sì che alcune sostanze tossiche si rilevino a livelli più elevati proprio in questa corrente piuttosto che in quella centrale.

Le principali sostanze tossiche del fumo liberate nell'ambiente sono: il monossido di carbonio, gli idrocarburi aromatici policiclici (come il benzo(a)pirene), numerosi VOC, l'ammoniaca e le ammine volatili, l'acido cianidrico e gli alcaloidi del tabacco. Nel fumo di sigaretta si trova anche una frazione particolata, costituita da sostanze presenti in fase solida, tra le quali il catrame e diversi composti poliaromatici. Circa 300-400 dei 3800 composti presenti nel fumo, sono stati isolati dal sidestream; tra questi alcuni riconosciuti cancerogeni sono presenti in concentrazioni superiori rispetto al mainstream (N-nitrosammine concentrate nel sidestream da 6 a 100 volte di più rispetto al mainstream).

Il fumo, inoltre, agisce come elemento potenziante la nocività di altre sostanze cancerogene, come l'amianto ed il radon.

Inquinanti fisici

Radon

Il radon è un gas radioattivo classificato, insieme ai suoi prodotti di decadimento, come agente cancerogeno di gruppo 1 (massima evidenza di cancerogenicità) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC): l'esposizione al radon è considerata la seconda causa di morte per cancro polmonare dopo il fumo di sigaretta.

Si stima che l'esposizione domestica al radon sia responsabile in Italia del 5-20% dei tumori polmonari, molti dei quali tra i fumatori a causa di un probabile effetto sinergico tra radon e fumo.

Le principali sorgenti di provenienza sono il suolo sottostante l'edificio ed i materiali da costruzione utilizzati e l'acqua di uso domestico. Il gas entra nelle case insieme all'aria che dal terreno circostante viene attivata dalle piccole differenze di pressione esistenti tra interno ed esterno e penetra negli edifici dalle strutture più vicine alle fondamenta, infiltrandosi nelle fessure e nei fori che permettono il passaggio delle condutture e dei cavi elettrici.





Contaminanti biologici

Le principali fonti d'inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono gli occupanti (uomo ed animali), la polvere, le strutture ed i servizi degli edifici.

Altre possibili sorgenti di microrganismi sono gli umidificatori ed i condizionatori dell'aria, dove la presenza d'elevata umidità e l'inadeguata manutenzione facilitano l'insediamento e la moltiplicazione dei microrganismi che poi sono diffusi negli ambienti dall'impianto di distribuzione dell'aria.

In particolare, diversi studi hanno evidenziato che gli umidificatori di impianti centralizzati sono idonei terreni di coltura per *batteri termofili* e *termoresistenti* e serbatoi di *endotossine batteriche*. Negli umidificatori domestici è stata riscontrata anche la presenza di *funghi mesofili*. Altri siti che possono costituire serbatoi di contaminanti biologici sono le torri di raffreddamento degli impianti di condizionamento ed anche i serbatoi e la rete distributiva dell'acqua ad uso domestico.

Tra i contaminanti ambientali di interesse emergente, un ruolo sempre più importante assumono gli *allergeni indoor*. L'aumento di prevalenza dell'asma registrato negli ultimi anni nei bambini e negli adolescenti soprattutto a carico delle forme perenni (non stagionali), in gran parte può essere spiegato con una sensibilizzazione ad allergeni presenti negli ambienti *indoor*.

I principali allergeni all'interno degli edifici sono dovuti solitamente agli acari, agli animali domestici ed a microrganismi come funghi e batteri. La condizione ambientale che ne favorisce la crescita è l'elevata umidità dell'aria e delle murature.

Effetti sulla salute e sul comfort ambientale della IAQ

Le patologie aventi un quadro clinico ben definito e per le quali può essere identificato uno specifico agente causale presente nell'ambiente confinato sono incluse nel gruppo delle cosiddette **“Malattie associate agli edifici o Building-related illness (B.R.I.)”**. Sono comprese le patologie causate da specifici agenti biologici, chimici e fisici (polveri, formaldeide, radon, amianto, etc.); nel complesso si tratta di effetti sulla salute a carico dell'apparato respiratorio, cute, mucose esposte, sistema nervoso e sistema immunologico, come malattie respiratorie, asma, febbre da umidificatori, alveolite allergica, legionellosi, etc.

Tra le patologie causate dall'esposizione ad agenti indoor, le forme più frequenti comprendono quadri clinici caratterizzati da effetti neurosensoriali che determinano condizioni di malessere, diminuzione del comfort degli occupanti e percezione negativa della qualità dell'aria. In questo contesto la **“Sindrome dell'edificio malato o Sick-Building Syndrome (S.B.S.)** è definita come una sindrome caratterizzata da sintomi che sono lamentati dalla maggior parte degli occupanti di un edificio (v. avanti).





Malattie respiratorie

L'apparato respiratorio rappresenta la porta d'ingresso di vari contaminanti aerei presenti nell'aria degli ambienti confinati.

Nella tabella sono descritti gli effetti sull'apparato respiratorio in relazione ai principali inquinanti indoor.

INQUINANTE	FONTI	EFFETTI SULLA SALUTE	
		BAMBINI	ADULTI
Fumo di tabacco ambientale	- Fumo di tabacco	- Incremento della frequenza di sintomi respiratori cronici - Incremento della frequenza di episodi infettivi acuti	- Probabile aumento della frequenza dei sintomi respiratori cronici - Probabile decremento
		- Iperreattività bronchiale (aumentato rischio di sviluppare patologia asmatica) - Malattia più severa nei soggetti asmatici - Ridotto sviluppo della funzione respiratoria ventilatoria	- Probabile decremento della funzione respiratoria ventilatoria
Particolato totale sospeso (TPS)	- Fumo di tabacco - Sistemi di riscaldamento - Inquinamento esterno - Combustione di legna	- Incremento della frequenza dei sintomi respiratori cronici	- Probabile decremento della funzione respiratoria ventilatoria
Biossido di Azoto	- Cucine a gas - Stufe a gas	- Probabile abbassamento della soglia di sensibilizzazione a vari allergeni	- Incremento della frequenza dei sintomi respiratori cronici
	- Caldaie	- Incremento della frequenza di sintomi respiratori cronici	- Incerto l'effetto sulla funzione respiratoria ventilatoria
	- Autoveicoli posti nelle vicinanze	- In soggetti asmatici: incremento del numero di episodi broncospastici e ridotta risposta alla terapia antiasmatica	
Fumo di legna	- Caminetti - Stufe a legna	- Incremento della frequenza di sintomi respiratori cronici (notevole produzione di particolato)	- Aumentato rischio per lo sviluppo di BPCO
Formaldeide	- Materiali da costruzione - Forniture e prodotti la casa - Fumo di tabacco - Processi di combustione	- Possibili fenomeni broncoreattivi in soggetti asmatici	- Possibili fenomeni broncoreattivi in soggetti asmatici

Tabella 7 - Principali inquinanti chimici degli ambienti confinati e loro effetti sulla salute respiratoria dei soggetti esposti





Malattie cardiovascolari

Le esposizioni a monossido di carbonio ed a fumo passivo sono state associate ad effetti cardiovascolari nell'uomo ed, in particolare, alla malattia ischemica del cuore.

Le recenti "Linee guida" dell'Organizzazione Mondiale della Sanità per la qualità dell'aria riconoscono un ruolo causale dell'esposizione al fumo ambientale nei riguardi della patologia coronarica.

Malattie da infezioni di origine Indoor

Le contaminazioni microbiche dell'aria sono legate a scarsa o, talvolta, assente idoneità delle condizioni igienico-edilizie dei locali, al sovraffollamento, alla scarsa manutenzione dei sistemi di climatizzazione.

L'inquinamento microbiologico all'interno degli ambienti chiusi può essere considerato una fonte di trasmissione di numerose malattie infettive a carattere epidemico: *influenza, varicella, morbillo, polmoniti pneumococciche, legionellosi, psittacosi-ornitosi, ecc.*

Particolare attenzione va rivolta alle infezioni trasmesse nell'ambito ospedaliero, dove la diffusione di microrganismi patogeni attraverso le condutture degli impianti di climatizzazione potrebbe rivestire un ruolo importante nella trasmissione delle *infezioni nosocomiali*.

Malattie da allergeni Indoor

L'aumentata propensione alle allergie ha reso pericolose alcune normali componenti biologiche del nostro ambiente di vita, quali gli acari della polvere, i derivati del pelo e della saliva degli animali domestici, alcuni pollini, alcune muffe.

Per questi motivi, le malattie allergiche, specie quelle respiratorie (asma) rappresentano, nell'ambito delle patologie influenzate dagli ambienti indoor, un settore che pone problematiche del tutto particolari. In questo caso, infatti, l'effetto potenzialmente nocivo delle sostanze presenti nell'ambiente non è riferibile alle loro proprietà intrinseche, ma ad una risposta anomala di una quota di popolazione che si sensibilizza nei confronti di sostanze allergizzanti. Gli allergeni non sono inquinanti, ma componenti "normali" dell'ambiente, privi di tossicità intrinseca.

Un'entità nosologica non trascurabile è l'*alveolite allergica estrinseca* che consegue ad un'abnorme risposta immunitaria ad esposizioni ripetute a polveri organiche. La cessazione dell'esposizione fa regredire il quadro clinico.

Infine, oltre alle forme classiche di asma bronchiale allergico, si segnala una sindrome di notevole interesse, definita "*febbre da umidificatore*". In alcuni episodi a carattere micro-epidemico è emerso il chiaro coinvolgimento dell'impianto di condizionamento, tuttavia l'agente eziologico coinvolto può rimanere sconosciuto, pur nell'ambito di allergeni, tossine batteriche, endotossine.



Sindrome dell'Edificio Malato o Sick-Building Syndrome (S.B.S)

L'espressione S.B.S. indica un quadro sintomatologico abbastanza ben definito, descritto negli ultimi 20 anni, che si manifesta in un elevato numero di occupanti edifici moderni o recentemente rinnovati, dotati di impianti di ventilazione meccanica e di condizionamento d'aria globale (senza immissione di aria fresca dall'esterno) ed adibiti ad uffici, scuole, ospedali, case per anziani, abitazioni civili. Si possono avere manifestazioni oculari come secchezza, lacrimazione; cutanee con arrossamenti e prurito e sensazione di cute secca; sensoriali con bruciore e sensazione di naso chiuso, di cattivi odori, rinorrea; respiratori con sensazione di torace chiuso e difficoltà ad effettuare respiri profondi, frequenza elevata di infezioni, tosse e respiro sibilante; neuropsichici con astenia, sonnolenza, cefalea, difficoltà di concentrazione, nausea e vertigini.

Queste manifestazioni cliniche sono aspecifiche, insorgono dopo alcune ore di permanenza in un determinato edificio e si risolvono in genere rapidamente, nel corso di qualche ora o di qualche giorno (nel caso di sintomi cutanei) dopo l'uscita dall'edificio.

L'eziologia è ancora sconosciuta; probabilmente multifattoriale e variabile da caso a caso. Fattori legati agli edifici, ai sistemi di condizionamento e di ventilazione, ai programmi di manutenzione, al tipo e alla organizzazione del lavoro e fattori personali svolgono certamente un ruolo rilevante.

Miglioramento della qualità dell'aria

I metodi utilizzati per l'ottenimento di una buona IAQ sono essenzialmente tre:

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

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, non è però 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.

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. 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 innanzi tutto 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 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. 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, con i quali spesso si può drasticamente ridurre l'inquinamento da impianto di ventilazione.

Il controllo alla fonte per il radon 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.

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'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.

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.

Un'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.



Diluzione degli inquinanti

Il meccanismo fisico con cui la ventilazione riduce la concentrazione di inquinanti è quello della diluizione nell'ambiente.

La ventilazione può essere **NATURALE** o **FORZATA**.

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, 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.

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 aereazione; tali dispositivi, molto usate in alcuni Paesi nordeuropei, sono ancora poco conosciute in Italia.

Le griglie di aereazione si possono classificare in passive ed attive:

<i>Griglie passive</i>	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);
<i>Griglie attive</i>	quelle dotate di ventilatori, con le quali la ventilazione è forzata.

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.

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 l'impianto è in grado di riscaldare e di umidificare l'aria nella stagione invernale e di raffreddarla e deumidificarla in quella estiva.

