

MICROCLIMA E QUALITA' DELL'ARIA INTERNA (IAQ)

CARATTERI GENERALI

Mentre la consapevolezza del rischio per la salute determinato dall'inquinamento atmosferico è patrimonio comune, è difficile accettare che l'aria contenuta nelle abitazioni o nei luoghi di lavoro non industriali (ambienti confinati dove la qualità dell'aria non è direttamente associata al tipo di attività produttiva), possa costituire una reale minaccia per l'integrità fisica delle persone. Questo, perché è radicata in noi la convinzione che l'ambiente costruito e la propria casa in primo luogo, costituiscano un riparo da tutti gli agenti aggressivi presenti all'esterno.

Le problematiche connesse all'ambiente artificiale si sono presentate ogni qual volta grandi masse di popolazione si sono inurbate: pericolo di crolli, incendi, epidemie e malattie legate alla insalubrità dei luoghi di vita o di lavoro.

La profonda differenza tra le tematiche studiate nella trattistica ottocentesca di igiene edilizia e la situazione attuale è che il problema dell'inquinamento interno è stato posto dalle nazioni *più opulente e sviluppate* e, le misurazioni sono state effettuate non negli "immondi tuguri", ma in case belle, pulite e spesso nuove o appena rinnovate.

Da alcuni anni, nei paesi maggiormente sviluppati, si è constatata l'insorgenza di una nuova tematica di primario interesse per la salute pubblica: l'aria che si respira all'interno dei luoghi costruiti non industriali (scuole, luoghi di lavoro, residenze, locali pubblici di spettacolo, svago, relax ecc.), è di gran lunga più inquinata dell'aria esterna; non solo, la maggior parte della popolazione trascorre in tali luoghi confinati fino al 90% del tempo della propria vita.

Le cause di tale situazione dipendono da svariati fattori, quali l'impiego dell'energia elettrica e le tecnologie ad essa correlate, l'immissione nel ciclo edilizio di nuovi prodotti inquinanti, la scarsa attenzione progettuale a soluzioni tecniche appropriate, la diminuzione dei ricambi d'aria a causa delle misure per il contenimento dei consumi energetici negli edifici, la minore attenzione dei progettisti nei confronti dei problemi di igiene edilizia, le diverse abitudini di vita della popolazione che tende a trascurare determinate operazioni di pulizia e, contemporaneamente, impiega prodotti chimici di largo consumo che aumentano il carico inquinante (insetticidi, deodoranti per l'ambiente, detersivi, detergenti, ecc.).

Agli inquinanti nuovi, di origine chimica (monossido di carbonio, biossido di carbonio, biossido di azoto, anidridi varie, composti organici volatili, formaldeide, toluene, benzene, stirene, isocianati, ecc.) o di nuova individuazione, come quelli di tipo fisico (gas radon, campi elettromagnetici naturali e artificiali), si aggiungono inquinanti classici, come quelli di origine biologica (muffe, batteri, funghi, pollini, ecc). Il risultato ottenuto è una miscela di nuovi e vecchi contaminanti presente all'interno degli edifici, con conseguenti danni transitori o permanenti alla salute degli individui, che vanno dalle sensazioni di malessere all'acuirsi dei fenomeni allergici, fino a diverse forme di patologia tumorale.

Trattasi di una problematica molto vasta e, da tempo all'attenzione della scienza bio-medica; già nel 1987 l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha riconosciuto e definito la *Silk Building Syndrom* (Sindrome dell'edificio malato - SBS) come un complesso di sintomi di malessere generale, non specifici ma ripetitivi, lamentati dagli occupanti di particolari fabbricati (con ambienti sigillati e dotati di impianti per il condizionamento dell'aria) che spariscono allontanandosi dagli edifici.

La *Building Related Illness* (malattia correlata all'edificio - BRI) è un complesso di sintomi che si manifestano in uno o più occupanti del medesimo edificio; possono essere riferiti ad uno specifico fattore eziologico (quadro clinico definito : irritazioni alle mucose provocate dalla presenza di formaldeide, tumore polmonare indotto da esposizione a radon indoor, legionellosi, ecc.) presente nell'aria dell'ambiente confinato e dal lungo tempo necessario per la guarigione. Per definire la

SBS elementi essenziali sono il comfort e il benessere legati a parametri fisici (temperatura, umidità e ventilazione, velocità dell'aria, ecc.) e la qualità dell'aria legata alla presenza di agenti inquinanti di diversa natura (inquinanti fisici, chimici e biologici).

L'individuazione del grosso problema relativo all'inquinamento ambientale ha innescato in tutto il mondo una serie di iniziative finalizzate alla ricerca. La problematica è stata studiata fin dagli anni '80, dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), dalla Nato, dalla CEE, dall'EPA (Environmental Protection Agency), oltre che da una serie di Enti degli USA, del Canada, della Francia, della Germania, della Svezia, ecc.

In Italia il Ministro dell'Ambiente ha istituito nel 1980 una commissione a cui collaborarono le università (Milano, Bari), le Associazioni (Assocasa), gli Istituti superiori (Enea), ecc. Ricordiamo la legge 21.01.1994 n. 61 per la riorganizzazione dei controlli ambientali e l'istituzione dell'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente (Anpa). Con detta normativa, il controllo dell'ambiente non è più di competenza delle ASL, ma viene affidato ad agenzie regionali che sono organizzate in settori tecnici corrispondenti alle principali aree di intervento e si articolano in Dipartimenti provinciali o superprovinciali ed in Servizi territoriali.

Inoltre, in recepimento della Direttiva CEE n. 106/89, lo Stato ha emanato il D.P.R. n. 246 del 21 aprile 1993 relativo ai prodotti da costruzione, e dove, tra i requisiti essenziali richiesti per gli edifici, all'allegato A, punto 3, *Igiene, salute ed ambiente*, è sancito:

".....per soddisfare questa esigenza l'opera deve essere concepita e costruita in modo tale da non costituire una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini, causata, in particolare, dalla formazione di gas nocivi, dalla presenza nell'aria di particelle di gas pericolosi, dall'emissione di radiazioni pericolose, dall'inquinamento o dalla contaminazione dell'acqua o del suolo, da difetti di evacuazione delle acque bianche o nere, dai fiumi e da residui solidi o liquidi e dalla formazione di umidità in parti o sulle superfici interne dell'opera.....".

L'organismo umano, attraverso i tessuti e la respirazione, stabilisce con l'ambiente in cui vive e lavora un continuo scambio gassoso, da ciò discende l'importanza della qualità dell'aria che lo circonda.

Problemi specifici, come l'inquinamento dell'aria in ambiente interno, hanno posto l'accento sulla scarsa qualità abitativa che riguarda il comfort ed altri aspetti difficilmente quantificabili come la fruibilità, la percezione, la gradevolezza degli spazi ed il danno sull'ambiente.

L'industria delle costruzioni è responsabile di circa il 40% della distruzione dell'ozono, del 30% delle emissioni di anidride carbonica, il 20-30% della produzione di rifiuti solidi urbani, del 35% dei consumi di energia. Infine, il settore delle costruzioni è responsabile dell'imponente consumo di risorse non rinnovabili.

Per tali ragioni, il problema di realizzare edifici ambientalmente sostenibili e rispondenti alle esigenze di qualità abitativa, non è più solamente oggetto di studio da parte di circoscritti gruppi ecologisti o di scuole architettoniche a sfondo naturalistico, ma è l'irrinunciabile obiettivo delle maggiori organizzazioni mondiali, degli organismi pubblici e di tutti gli operatori nel mondo delle costruzioni (progettisti, costruttori).

Per ridurre l'impatto dell'evento costruttivo sull'ambiente fisico (naturale e artificiale)

è indispensabile privilegiare le scelte ecocompatibili, modificando sistemi tecnico-costruttivi e strategie produttive - gestionali.

Il fattore ecologico comporta una situazione di equilibrio: non è ecologica la casa sana al suo interno che scarica nel prato del vicino il gas radon estratto dalle sue cantine; non è ecologico il palazzo che risolve i suoi problemi di clima interno, provocando un inquinamento termico esterno, e non è neppure ecologica la casa che usa esclusivamente materiali naturali non rinnovabili, saccheggiando ulteriormente l'ambiente esterno.

I materiali naturali non possono essere utilizzati con la logica "dell'usa e getta", in quanto destinati a essere sempre più rari e quindi preziosi, deve esserne progettato il loro recupero e reimpiego.

Inoltre non sono proponibili i meccanismi già visti nel campo delle tecnologie edilizie, dei trasferimenti acritici di modelli da paesi stranieri considerati più avanzati.

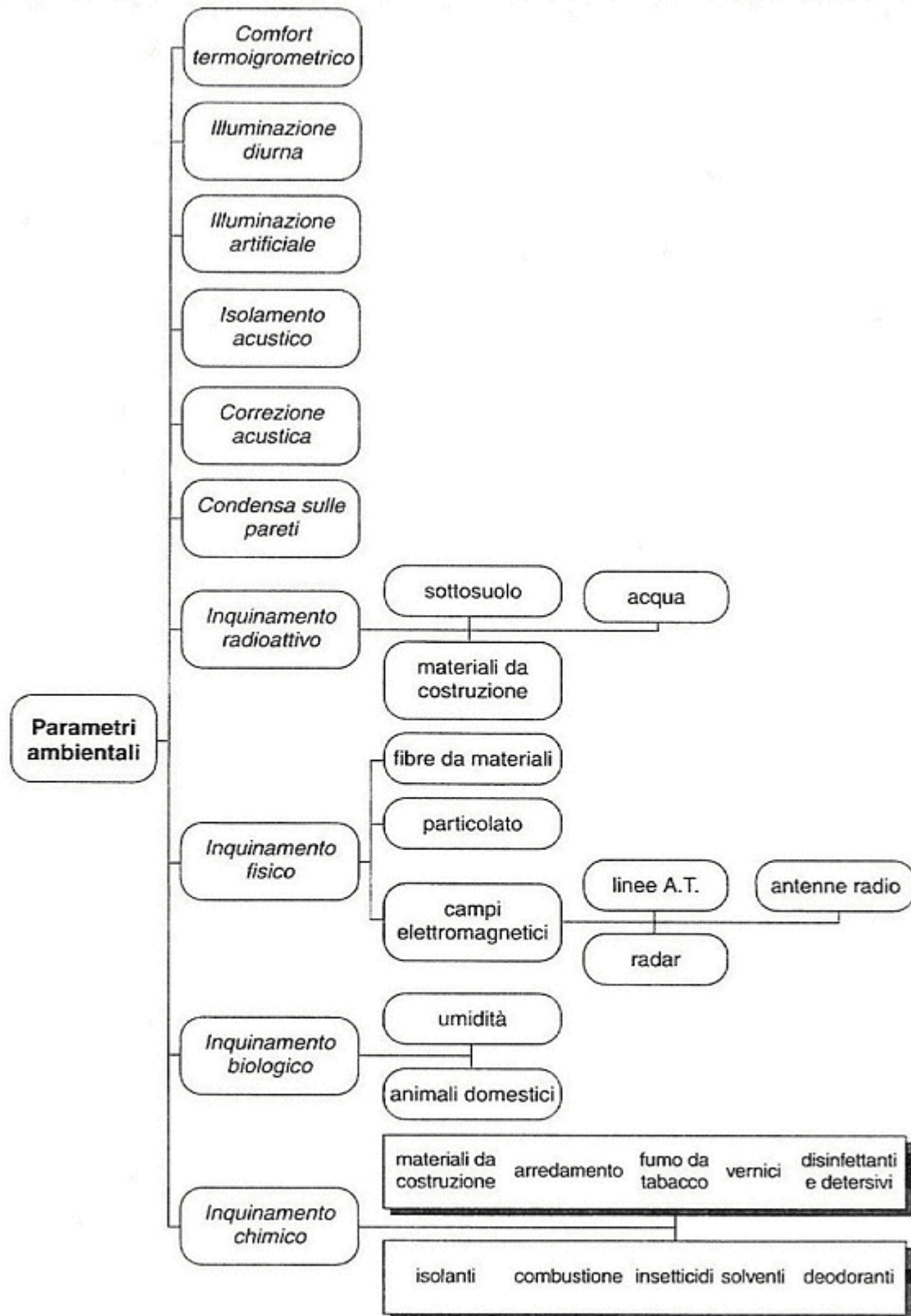
La strada dell'informazione chiara e corretta sembra l'unica perseguibile, non esistono soluzioni preconfezionate, come non esistono ricette sulle tecniche da adottare o sui materiali più idonei da utilizzare.

MICROCLIMA (CLIMA INDOOR)

Da quanto esposto sopra, emerge l'esigenza che il microclima presente all'interno degli ambienti confinati, dove l'uomo trascorre più di due terzi del proprio tempo, risulti idoneo ad una vita ottimale e non presenti anomalie che possano influire negativamente sulla sua salute, sulla sua sfera emotiva o sul suo benessere.

I parametri ambientali che influenzano la qualità dell'aria negli ambienti confinati e quindi sono in grado di incidere anche sul discomfort ambientale e sulla conseguente manifestazione di SBS, sono riportati nella tabella 1.

Tab. 1



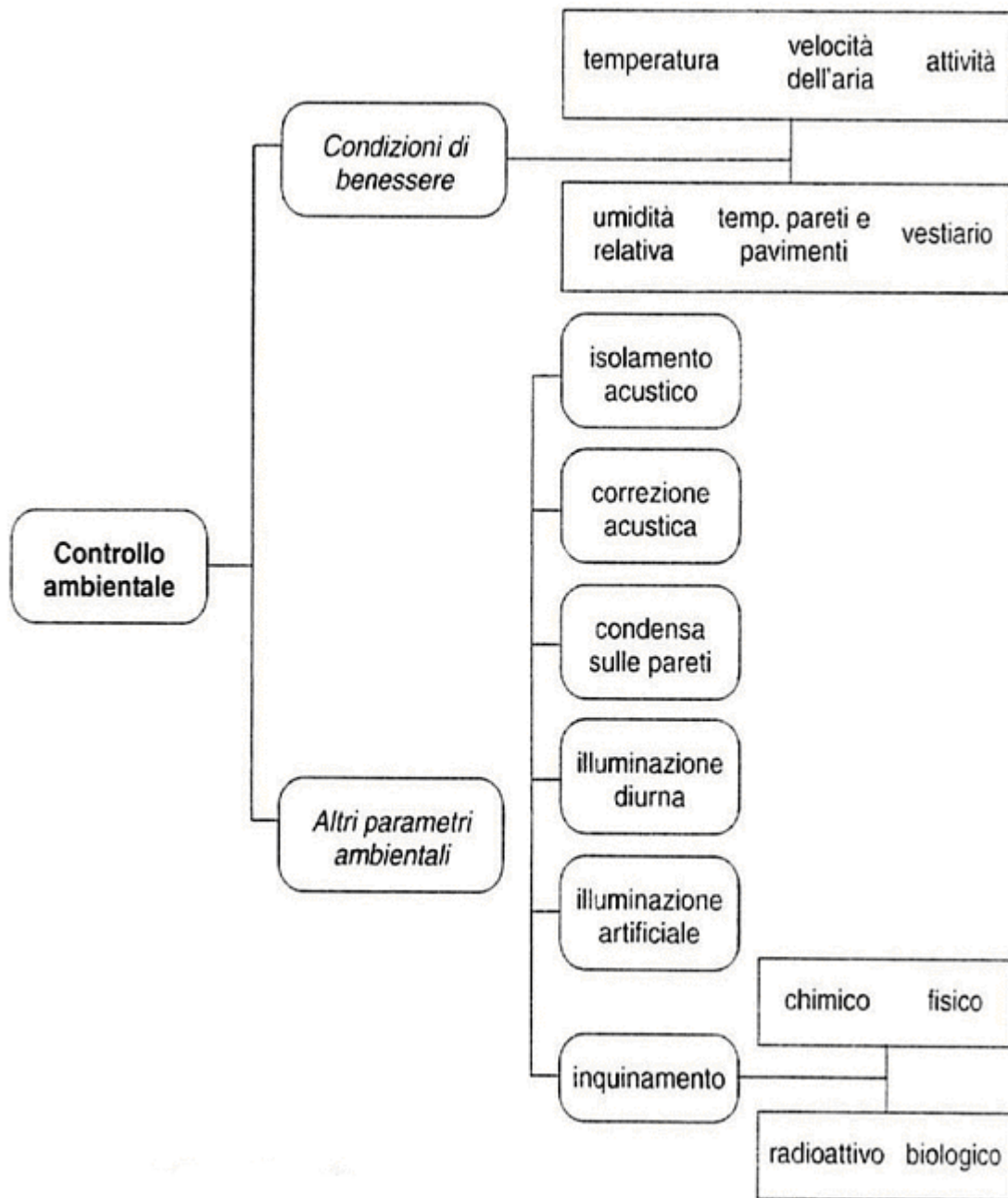
Descrizione analitica delle caratteristiche degli elementi sopra citati ed il loro rapporto con la SBS:

- *temperatura dell'aria interna*: esiste una relazione statisticamente rilevante tra l'elevazione della temperatura oltre i 22°C e la comparsa di sintomi di SBS.
- *umidità relativa*: in inverno non deve essere inferiore al 30%. Intorno al 20% aumentano le patologie dovute alla secchezza dell'aria. In estate l'umidità relativa deve essere mantenuta tra il 50% e il 70%. I procedimenti di umidificazione dell'aria sono alla base di un grande numero di problemi e meritano una particolare attenzione.
- *ventilazione*: ratei di ventilazione insufficienti acquiscono i problemi di inquinamento interno, particolare attenzione va posta alla quantità di aria di ricircolo ed ai trattamenti che subisce.
- *velocità dell'aria*: è un altro parametro importante per la definizione del benessere, molte persone si lamentano per l'aria stagnante, altre, che lavorano in prossimità di bocche d'aerazione, hanno ugualmente sensazioni di disagio.
- *illuminazione artificiale*: è questo un altro vasto campo di indagine. Lo stress visuale può giocare un certo ruolo in funzione della distribuzione dei punti luminosi, di un insufficiente contrasto, di una eccessiva intensità luminosa.
- *rumore*: il rumore sia di provenienza interna che esterna ha influenza sul benessere, sulla sfera emotiva e sulla concentrazione.
- *vibrazioni*: la vicinanza a fonti di vibrazioni come il traffico pesante su gomma o rotaia, causa disturbi agli occhi ed irritabilità.
- *ioni*: la mancanza di ioni negativi è responsabile di malessere ambientale ed è determinata dalla presenza di fonti inquinanti.

E' importante ricordare la soggettività delle sensazioni legate al benessere o al malessere ambientale, a parità di condizioni e di attività fisica esercitata dalle persone.

Tra i diversi ambiti (acustico, illuminotecnico, termico, purezza dell'aria) che influenzano il microclima indoor per il controllo ambientale (tabella 2), va trattato in modo più approfondito l'aspetto relativo alla qualità dell'aria (purezza), in quanto più inerente all'aspetto edilizio.

Tab. 2



PUREZZA DELL'ARIA INTERNA (IAQ-INDOOR AIR QUALITY)

SOSTANZE INQUINANTI E LORO SORGENTI

Le cause dell'inquinamento degli ambienti interni sono molteplici e fra loro interrelate. Allo stesso tempo è possibile individuare numerose tipologie di sorgenti di sostanze inquinanti, fra cui:

- materiali per le costruzioni;
- materiali e prodotti per le finiture;
- materiali di arredo e corredo;
- impianti di climatizzazione e riscaldamento;
- prodotti di largo consumo per la pulizia e la manutenzione;
- presenza di persone, animali e piante;
- attività umane.

Si possono classificare gli inquinanti interni secondo la provenienza, la loro tipologia (di tipo fisico, chimico, biologico) e gli effetti che essi producono sull'uomo.

La tabella 3 descrive alcuni inquinanti interni, la loro origine e gli effetti sulla salute;

Tab. 3

Descrizione, sorgenti ed effetti sulla salute di alcuni inquinanti presenti nell'ambiente interno (fonte: A. Baglioni e S. Piardi, Costruzioni e salute. Criteri, norme e tecniche contro l'inquinamento interno, Franco Angeli, Milano 1991, p.30).

Inquinante	Descrizione	Sorgente domestica	Effetti sulla salute
Diossido di azoto	Gas incolore e insapore, che si forma durante la combustione a temperatura elevata	Stufe a cherosene e apparecchi a gas non ventilati	Irritazione delle vie respiratorie, danni ai polmoni dopo lunga esposizione
Ossido di carbonio	Gas incolore e insapore, che si forma per incompleta combustione	Scarichi di automobili (garage unito alla abitazione) fumatori, stufe non ventilate	Riduzione della capacità di ossigenazione del sangue, indebolimento della vista, nausea, debolezza, confusione mentale, morte per alte concentrazioni
Particelle di fumo	Complessa miscela di particelle formatesi per incompleta combustione	Fumo di tabacco, stufe a legna, caminetti, stufe a cherosene non ventilate	Irritazione delle vie respiratorie, enfisema, disturbi cardiaci, cancro
Formaldeide	Gas pungente, incolore, emesso da adesivi e prodotti a base di urea-formaldeide	Compensati, paniforti, truciolati, isolamenti realizzati con schiume a base di urea-formaldeide	Irritazione di occhi, naso, gola; esantemi e reazioni allergiche

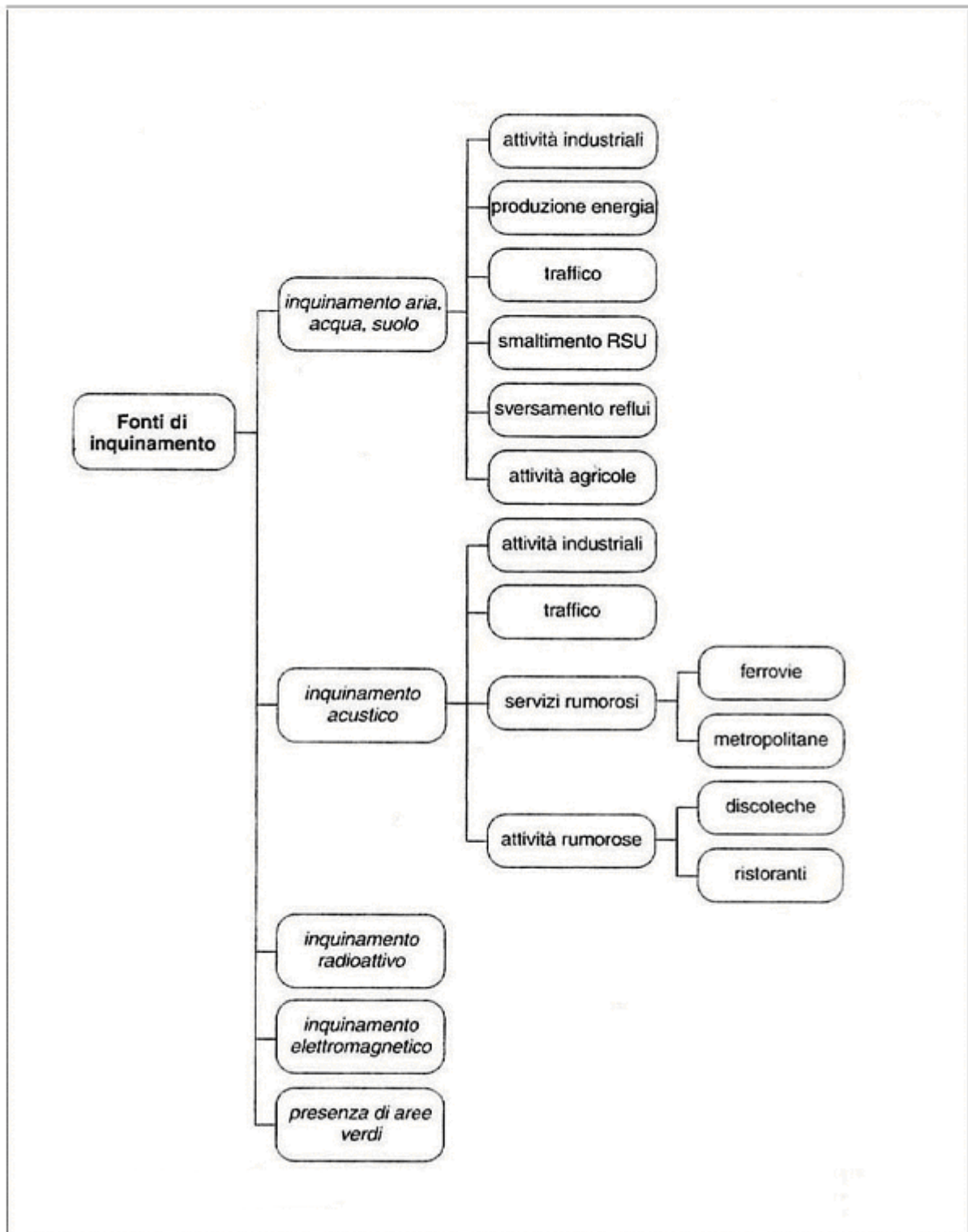
Radon	Gas incolore e inodore, radioattivo, emanato da materiali della crosta terrestre	Terre e rocce utilizzati come materiali costruttivi (cementi, graniti, tufi, laterizi, pozzolane)	Si stima che possa essere responsabile di una percentuale tra il 5 e il 20% dei casi di cancro
Composti volatili organici	Vasto gruppo di molecole contenenti carbonio e idrogeno. Da prodotti sintetici e combustione incompleta	Solventi negli adesivi, nei detersivi, nelle vernici, pavimenti e rivestimenti sintetici, imbottiture, isolanti, fumo, cottura	Vasta gamma di conseguenze, dall'irritazione al cancro
Microorganismi, allergizzanti	Batteri, funghi, virus, pollini, muffe e altri	Umidità nei muri, emanazioni umane, mobili, tappeti, animali	Malattie respiratorie, allergie, raffreddori, influenze, polmonite

Secondo la provenienza

- si hanno sostanze contaminanti generate internamente per la presenza di persone, processi di combustione, materiali edilizi e arredi. Più precisamente quelle prodotte dal metabolismo umano (CO₂ e odori corporali), dal fumo di tabacco, dalla cottura dei cibi, dalla presenza degli impianti di condizionamento, da prodotti chimici impiegati per la pulizia o per il funzionamento di fotocopiatrici, da materiali edilizi ed arredi che rilasciano composti organici volatili (VOC);
- si hanno sostanze contaminanti nell'aria esterna e che contribuiscono al carico inquinante interno attraverso l'apertura delle finestre o proveniente dai condotti di ventilazione. I principali inquinanti come è noto sono: l'ossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO_x) e di zolfo (SO_x), i composti organici volatili (VOC), il particolato sospeso e l'ozono.

Nella tabella 4 sono indicate tutte le fonti di inquinamento.

Tab. 4



Secondo il tipo

- gas o vapori (CO, CO₂, SO_x, NO_x, VOC, ozono);
- radiazioni ionizzanti (radon e prodotti di decadimento del radon);
- radiazioni non ionizzanti (radiazioni ultraviolette, campi elettromagnetici naturali e artificiali);
- inquinanti biologici: microrganismi (muffe, funghi, batteri, virus, protozoi, ecc.), materiale organico di origine animale o vegetale (pollini);
- fumo di tabacco e particolato, come fibre, polvere, ecc. (ricordiamo, per inciso, la grande influenza che hanno sulle allergie dell'apparato respiratorio le particelle sospese di dimensioni inferiori ai 10 µm).

Le quantità degli inquinanti vengono espresse attraverso la loro concentrazione (in ppm, mg/mc, µg/mc; per gli inquinanti biologici in numero di particelle per metro cubo; per i gas radioattivi in Becquerel al metro cubo), ma va osservato che il quadro dei rilevamenti di tali concentrazioni è assai carente e poco organico nel nostro paese. Alcuni dati sono reperibili nella letteratura internazionale, ma non sono particolarmente probanti. In ogni caso, poiché i meccanismi di assorbimento da parte dei tessuti e degli organi del corpo umano differiscono moltissimo da inquinante a inquinante, più che la concentrazione occorrerebbe monitorare, in funzione dell'esposizione del soggetto, la dose biologica nei capelli, nel sangue, nei tessuti e la sua variabilità nel tempo.

Secondo gli effetti

- Tutti gli inquinanti sopracitati hanno sull'organismo gli effetti più diversi, che vanno dalle sollecitazioni *sensoriali* come gli odori, a quelle *fisiologiche* come cefalea o affaticamento, oppure a quelle *biologiche* vere e proprie, come irritazioni degli occhi o delle mucose e reazioni allergiche, per finire con patologie mutagene o cancerogene. Anche i materiali non sono esenti dagli attacchi inquinanti, basti pensare ai danni provocati dalla proliferazione di inquinanti biologici quali le muffe. Nella tabella 5, sono riportate le principali sostanze tossiche, le sorgenti e gli effetti biologici in ambienti confinati.

Tab. 5 - LE PRINCIPALI SOSTANZE TOSSICHE PRESENTI QUALI INQUINANTI NELLE ABITAZIONI

Sostanza tossica	Dove si trova	Effetti biologici
Amianto	coperture in eternit, tubazioni, isolanti, ecc.	disturbi respiratori, cancerogeno
Anidride carbonica	scarichi da riscaldamento, autotrazione	emicranie, vertigini, svenimenti
Anidridi solforosa e solforica	scarichi da riscaldamento, autotrazione e industria	bronchiti, infiammazioni oculari, danni renali
Benzene	colori, vernici, smalti, colle, materie plastiche, isolanti sintetici.	disturbi respiratori, cancerogeno
clorobenzolo	solventi, pesticidi, vernici, smalti	narcotico, intossicazione epatica, infezioni renali e polmonari
cromo	coloranti, olii, cuoio, cemento e derivati	bronchiti croniche, irritazioni oculari, cancerogeno
Dicloroetano e tricloroetano	solventi, resine sintetiche, gomma, pvc, pavimenti sintetici	emicranie, svenimenti, danni epatici, renali, intestinali, e all'apparato digerente
Estere acido fosforico	prodotti antincendio, insetticidi, fungicidi, diserbanti, ammorbidenti	disturbi nervosi, vertigini, leucocitosi, disturbi oculari, epatiti
Fenolici	coloranti, collanti, vernici, smalti	vertigini, emicranie, difficoltà circolatorie ed epatiche, disturbi al sistema nervoso centrale ed mutageno, sospetto cancerogeno
Formaldeide	vernici, collanti, pannelli truciolari, pannelli in sughero, materie plastiche, disinfettanti, conservanti	emicrania, asma bronchiale, eczemi, dolori articolari, mutageno, sospetto cancerogeno
Isocianato	collanti, gomma, vernici, smalti	irritazione alle mucose, asma bronchiale allergica
Mercurio	coloranti, lampade, pile, shampoo, prodotti per la pulizia di pavimenti, inchiostri da stampa	alterazioni enzimatiche, eczemi, danni alle cellule cerebrali e renali
Monossido di carbonio	scarichi da riscaldamento, autotrazione e industria	disturbi circolatori, neuropsichici visivi, emicranie, tachicardie
Pentaclorofenolo	fungicidi ed impregnanti edili	danni epatici, renali, consumo del midollo osseo
Piombo	colori, vernici, tubazioni, pannelli e barriere antiaustiche	emicrania, vertigini ed epilessia
Sulfamidici	medicinali, impregnanti edili ad azione battericida	asma bronchiale, dermatiti, danni renali e disturbi digestivi
Stirene	Polistirolo, adesivi, isolanti, plastica, materiali da costruzione, confezioni per alimenti	depressione, emicrania, disturbi mentali, mutageno, cancerogeno.
Tensioattivi	prodotti per la pulizia	reazioni allergiche delle mucose e della pelle.
Tricloroetilene	prodotti per la pulizia e smacchiatori	danni alle cellule e al sistema nervoso centrale
Vinilcloruro	giocattoli, tessuti, tendaggi	cancerogeno
Toluolo e Xilolo	sbiancanti, solventi, vernici e smalti	narcotico, danni epatici, renali e cardiaci

INDICATORI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

Volendo scendere ad un esame più puntuale, vengono di seguito reconsiderati alcuni dei contaminanti presenti negli edifici destinati ad uso civile, ed in particolare quelli che sono stati o sono considerati preziosi indicatori della qualità dell'aria interna.

Bioeffluenti e anidride carbonica

I bioeffluenti (odori corporali) sono composti organici emessi sotto forma di gas o particelle del corpo umano, sia con la respirazione, che con la sudorazione, o la traspirazione, ecc., per effetto del metabolismo e quindi in quantità correlata all'attività dell'individuo.

I bioeffluenti non hanno azione tossica ma, l'aumentare della loro concentrazione, in locali affollati, crea un senso di sgradevolezza e fastidio. Per molto tempo, quale indice di tale fastidio, è stata assunta la concentrazione di CO₂ che sempre accompagna l'attività metabolica. L'uso della CO₂, come indicatore per l'odore emesso dal corpo umano, ha portato a considerare tale gas come surrogato per indicare in modo globale la qualità dell'aria interna. Quando è stato assegnato un limite superiore per la sua concentrazione, si intendeva essenzialmente regolare la presenza di bioeffluenti umani senza implicazioni né sulla presenza di altri inquinanti in ambiente né sulla validità intrinseca di tale limite. Infatti, è stato dimostrato che tale limite risulta insufficiente in spazi fortemente affollati oppure in presenza di altre sostanze inquinanti. Se comunque l'uso della CO₂ come *indicatore globale* è da ritenersi superato, la sua misura insieme a quella dei VOC e dell'ammoniaca va considerata per la determinazione oggettiva della qualità dell'aria.

Prodotti di combustione: SO_x, NO_x, CO

Responsabili della produzione di questi gas, che possono essere irritanti o tossici secondo la loro concentrazione, sono i processi di combustione quali quelli dovuti a cottura di cibi, impianti autonomi a gas per il riscaldamento e la preparazione di acqua calda, stufe a cherosene, sigarette. Il biossido di zolfo SO₂ ha un'azione prevalentemente irritante per l'apparato respiratorio e può arrecare seri fastidi a persone con malattie cardiovascolari; diventa tossico per concentrazioni superiori a 5 ppm. Il biossido di azoto NO₂ può provocare, per concentrazioni superiori a 350 µg/mc, disturbi respiratori sui bambini; gli stessi sintomi possono manifestarsi in individui adulti sani per concentrazioni superiori ai 1000 µg/mc. A tutti è nota l'estrema tossicità dell'ossido di carbonio CO dovuta alla sua grande capacità di combinarsi con l'emoglobina del sangue, formando un composto stabile chiamato *carbossi-emoglobina* che non permette più lo scambio di ossigeno nei polmoni. Poiché il CO ha un'affinità con l'emoglobina che è circa superiore di 200 volte a quella dell'ossigeno, si comprende come già concentrazioni di 10 ~ 20 ppm, impoverendo di ossigeno l'organismo, possano provocare seri disturbi a persone affette da malattie cardiovascolari o broncopneumatie croniche. Tra i prodotti della combustione dobbiamo anche includere il fumo delle sigarette.

Composti organici volatili

I composti organici volatili, ormai comunemente indicati con l'acronimo VOC (Volatile Organic Compounds), sono costituiti da una grande quantità di sostanze, tra le quali prevalgono gli idrocarburi aromatici e clorurati, i terpeni, le aldeidi. Tra queste ultime le più diffuse in edifici residenziali sono il toluene e la formaldeide sotto forma di particolato aerodisperso. I VOC sono sempre presenti in ambienti chiusi, dato che essi sono legati all'uso di colle e vernici impiegate soprattutto in arredi moderni a base di truciolato ligneo, all'uso di deodoranti, tarmicidi, solventi per le vernici; inoltre, sono causa di formazione di VOC i processi di combustione, compreso il fumo prodotto dalle sigarette e lo stesso metabolismo dell'uomo. Alcuni dei componenti sono particolarmente nocivi per l'uomo; ricordiamo la formaldeide, presente nel fumo di tabacco e nella essalazione da schiume poliuretatiche, che per concentrazioni dell'ordine dei 2 mg/mc ha effetti irritanti per le vie respiratorie, ma è sospetta di produrre neoplasie in concentrazioni superiori.

E' doveroso segnalare che poiché i VOC sono sempre presenti negli edifici residenziali e la loro presenza è legata sia all'attività umana che ai materiali da costruzione, arredi, pitture, parati, moquette, ecc., la misura dei composti organici volatili totali (TVOC) può essere un mezzo per verificare gli effetti di un ambiente inquinato sulla salute o sul benessere dell'uomo. In altre parole si pensa che al fine sopradescritto i VOC possano essere un *indicatore* della qualità dell'aria, così come la CO₂ e NH₃ lo sono per i bioeffluenti. Certo occorre ancora un certo grado di cautela nello stabilire scale di valori e ciò, sia per la non univoca definizione dei VOC stessi, sia per la scarsa confrontabilità dei metodi di misura. Per esempio, è ancora dibattuto il problema se i TVOC misurati con le tecniche attuali siano o non siano la somma di tutti i componenti organici volatili singoli presenti. Le tecniche di misurazione sono complesse o possono condurre a risultati diversi. Nonostante ciò, Seifert, nel '91, ha determinato un livello limite superiore per tale categoria di sostanze di 300 µg/mc. Siamo comunque lontani dal ruolo più certo assunto dai *valori limite di soglia* (TLV) introdotti per assicurare la salute degli operai nei luoghi di lavoro in presenza di contaminanti specifici.

Il radon (Rn)

E' dal 1957 che si è definitivamente correlata l'esplicita presenza del Radon e dei suoi derivati a patologie di cancro alla gola ed ai polmoni. Gli studi iniziati nel 1932 ebbero dapprima quale campione i minatori, per poi rivolgersi ad operai esplicanti differenti attività lavorative. Intorno agli anni '70, la scoperta del Rn all'interno di edifici della Florida destinati ad abitazione diede un ulteriore decisivo impulso alle ricerche sulla contaminazione radioattiva di questo gas, peraltro chimicamente inerte e assolutamente inodore. Il Radon è un gas prodotto dal decadimento dell'Uranio²³⁵ e dell'Uranio²³⁸, contiene ventisei isotopi radioattivi; si trova ovunque nel suolo e nelle rocce, in particolare in quelle di origine vulcanica nei graniti, nelle arenarie, nei tufi, che vengono impiegati come materiali da costruzione. Attraverso fessure e pori del terreno il Rn raggiunge la superficie terrestre e quindi l'atmosfera, con fenomeni di trasporto macroscopico dovuti sia a diffusione molecolare (legge di Fick), sia a flussi convettivi (legge di Darcy). L'Istituto Superiore della Sanità, con la collaborazione dell'ENEA, ha effettuato nel 1994 un'indagine campionaria in Italia su oltre 4000 abitazioni distribuite in 210 Comuni, rilevando una concentrazione media di Radon di 77 Bq/mc; solo nell'1% dei casi è stata riscontrata una concentrazione superiore ai 400 Bq/mc, che è il valore di soglia oltre il quale occorre procedere con interventi cautelativi nel caso di edifici preesistenti. Tuttavia, studiosi e ricercatori hanno recentemente richiesto all'Organizzazione Mondiale per la Sanità (WHO) di abbassare tale limite a 200 Bq/mc per le nuove costruzioni.

Contaminanti biologici

Tra tutti i più importanti sono i microrganismi viventi, quali muffe, batteri e spore fungine, che trovano il loro terreno di coltura in zone umide quali quelle offerte da alcuni componenti degli impianti di condizionamento, o quelle delle pareti rese umide dall'imbibizione o dalla condensa superficiale. Questo ultimo fenomeno si è verificato in tempi recenti in non poche case soprattutto in determinate zone climatiche, per trascuratezze nella progettazione o nella realizzazione di edifici. Il rischio di germinazione delle muffe sulle strutture edili è maggiore quanto più bassa è la loro temperatura superficiale. Detto fenomeno si verifica durante le variazioni climatiche con climi freddi, quando l'isolamento termico delle pareti o dei plafoni non è adeguato, quando le strutture sono sature d'umidità generata da una scarsa traspirazione o quando si sia in presenza di notevoli ponti termici. Anche l'aumento della pressione di vapore interna favorisce il formarsi di muffe, e ciò può essere provocato dalla presenza di eccessive sorgenti di vapore o da deficienza di ventilazione.

La contaminazione degli impianti di condizionamento è un evento da non trascurare. La difficoltà di ispezione e la carenza di manutenzione dei componenti particolari, ove si ha presenza di acqua, quali le batterie di umidificazione e di raffreddamento o le torri evaporative, possono permettere il proliferare di spore di *Aspergillus* o di *Penicillium*. Se a ciò si aggiunge la possibilità di rilevare la

presenza in sistemi di filtrazione non igienicamente mantenuti di micotossine aerodisperse, di polveri e VOC, si comprende quanta attenzione sia opportuno porre per evitare che un impianto pensato e costruito per il benessere dell'uomo si trasformi in fonte di allergie, cefalee, irritazioni di mucose faringee e bronchiali, astenie, o peggio in Legionellosi.

Il batterio denominato scientificamente *Legionella pneumophila*, è un patogeno a localizzazione intracellulare, rappresenta tra le tipologie di legionella la specie più aggressiva nei confronti dell'apparato polmonare umano.

Alla *Legionella pneumophila* ed alle altre specie di *Legionella*, vengono addebitati vari tipi di infezioni respiratorie in diversa proporzione: per l'85% circa alla prima e per il rimanente alle seconde.

Il termine *Legionella* fu coniato a seguito del raduno tenutosi da circa 4400 ex combattenti del Vietnam (definiti anche con il nominativo di Legoinaires), presso l'Hotel Stratford a Philadelphia nel Luglio del 1976.

221 partecipanti all'evento contrassero una grave forma di infezione polmonare , il cui esito risultò fatale per 34 ex-legionari.

Gli accertamenti medici che ne seguirono, accertarono che le infezioni polmonari, erano imputabili alla proliferazione di batteri fino ad allora di origine sconosciuta, proliferati nelle condotte di distribuzione d'aria dell'impianto di condizionamento dei saloni e delle camere da letto nell'albergo che ospitava i partecipanti al raduno.

A seguito di approfonditi studi biomedici, successivamente effettuati, sono stati addebitati ai batteri di *Legionella* svariati casi di epidemia polmonare acuta, di cui precedentemente non era stata identificata la provenienza.

La malattia del Legionario, si manifesta con interessamento polmonare con o senza manifestazioni extrapolmonari in individui particolarmente deboli, affetti da patologie croniche, immunodepressi o con diagnostica tardiva, può portare al decesso.

Viene contratta prevalentemente nel periodo estivo-autunnale, per inalazione, inspirando microgoccioline d'acqua contaminata disperse in aria sotto forma di aerosol o nebulizzazione.

Inizialmente l'attenzione dei ricercatori venne posta esclusivamente sui sistemi di recupero e deumidificazione degli impianti di climatizzazione, successivamente anche all'interno dei circuiti delle torri di evaporazione e dei sistemi di raffreddamento.

Questa constatazione evidenziò il pericolo di una possibile contaminazione batterica, per gli impianti di condizionamento con le prese d'aria esterne ubicate nelle vicinanze delle torri di evaporazione.

Dalle recenti ricerche , la scienza bio-medica ha isolato il batterio *Legionella*, anche all'interno delle reti di distribuzione e preparazione dell'acqua calda sanitaria, dove può trovare le condizioni ottimali per lo sviluppo.

Le concentrazioni di disinfettante, contenute per la potabilizzazione dell'acqua nella rete idrica, sono generalmente insufficienti a garantire l'assenza del batterio *Legionella* .

I batteri *Legionella* sono presenti oltre che nelle reti idriche, nei pozzi, nei fiumi, nei laghi, nelle piscine, nelle fonti termali, ecc., ma presenza del batterio non comporta necessariamente pericolo per gli esseri umani, è nocivo esclusivamente quando è associato a vari fattori:

- temperatura dell'acqua dai 25 ai 45°C all'interno delle tubazioni e dei preparatori d'acqua calda;
- presenza di biofilm (struttura viscosa di provenienza organica costituita da altri batteri, sali naturali, alghe), in grado di svilupparsi potenzialmente su tutte le superfici immerse in acqua, microrganismi, scorie, ioni di calcio, ferro, magnesio;
- accumulo di depositi provenienti dalla corrosione dei materiali e prodotti plastici quali il pvc, le gomme, prodotti polimeri, il polietilene ed il polibutilene, l'acciaio inox, il rame, con concentrazioni che possono arrivare fino a 10^5 cfu/cm²

Le superfici zincate offrono un grado discreto di protezione fintanto che i processi corrosivi non portano in soluzione ioni di ferro capaci di stimolare la proliferazione del batterio.

Gli impianti tecnologici a rischio sono molteplici.

Le conoscenze attuali hanno evidenziato che possono essere a rischio tutti gli impianti che in presenza di ossigeno, interferiscono con la movimentazione dell'acqua riscaldata a temperature variabili dai 25 ai 45°C e la sua nebulizzazione.

Gli impianti maggiormente a rischio sono: vasche per idromassaggi, piscine, sistemi antincendio a sprinter, valvole e rubinetti in genere, nebulizzatori per lavandini, vasche, docce, tubazioni in genere, boiler e serbatoi d'accumulo, impianti di condizionamento con filtri, separatori di gocce, nebulizzatori, umidificatori a pacco umido, torri di raffreddamento.

LA RESPONSABILITÀ DEI PRODOTTI EDILIZI

I materiali ed i prodotti presenti nell'ambiente hanno una notevole responsabilità per quanto riguarda la qualità dell'aria. Si tratta di materiali utilizzati per la costruzione, per le finiture e l'arredo (tabella 6). I manufatti ed i prodotti influiscono sulla SBS secondo due principali modalità: la prima riguarda l'emissività di sostanze nocive da parte dei materiali, la seconda è relativa alla capacità di assorbimento di contaminanti presenti nell'aria ed il successivo rilascio. Per quanto concerne la prima modalità, le cause dell'emissione sono di diverso genere e dipendono da vari fattori:

- Il contenuto totale di sostanze vaporizzabili costituenti i materiali. Impiego di solventi o monomeri durante i cicli di lavorazione, con la conseguente vaporizzazione di inquinanti volatili nell'ambiente circostante.
- La distribuzione di questi costituenti tra la superficie e l'interno del materiale. Contaminanti fortemente legati al materiale hanno minore capacità di emissione.
- La superficie del materiale per volume dello spazio in cui si trova.
- L'età del materiale e fattori di degradazione nel tempo.
- I fattori ambientali (temperatura, numero dei ricambi d'aria, umidità relativa).

Tab. 6

Principali fonti di inquinamento in ambiente domestico
(fonte: Ministero dell'ambiente, op. cit., p.18)

<i>Materiali di costruzioni</i>	
Truciolati, compensati	Formaldeide, solventi
Schiume poliuretaniche	Formaldeide, solventi
Altre schiume	Solventi
Isolanti in fibra di vetro	Aldeidi alifatiche
Rivestimenti (tessuti, plastiche, gomma)	Solventi
Tappezzeria sintetica	Solventi
Adesivi	Solventi, formaldeide
Vernici	Solventi, emulsificatori
Mastici	Solventi
Lacche, smalti	Solventi, formaldeide
Impregnanti del legno	Fungicidi, Solventi
<i>Materiali e apparecchiature d'uso domestico</i>	
Elettrodomestici	Solventi
Materiale fotografico	Solventi
Materiale per ufficio	Solventi
Carta stampata	Solventi, esanale
Colle	Solventi, emulsificatori
Vernici, lacche, smalti	Solventi, emulsificatori
Lubrificanti	Solventi

Per quanto riguarda l'emissione in funzione dell'età del materiale, esistono prodotti che hanno una forte emissività all'inizio della loro vita ed altri che invece iniziano il rilascio con il logoramento e l'invecchiamento; questo secondo caso è caratteristico dei materiali che rilasciano polveri o fibre, mentre i materiali che emettono composti organici volatili tendono ad essere del primo tipo.

Per ciò che riguarda l'emissione di sostanze organiche volatili è stato compiuto uno studio che classifica i materiali secondo la durata dell'emissione nel modo seguente (Tucker, 1988):

- *emissione costante*: si dimezza in un anno o più; un esempio sono le palline antitarne che hanno una pressoché uguale capacità di emissione durante tutto il loro periodo di vita (emissione di paradichlorobenzolo);
- *emissione lenta*: si dimezza nell'arco di settimane o mesi; un esempio è costituito da alcuni tipi di rivestimenti murali o di pavimento;
- *emissione rapida*: si dimezza nel giro di minuti, ore o giorni; un esempio è costituito dalle vernici, dagli adesivi, dai collanti, che emettono grandi quantità di composti organici volatili al momento dell'applicazione, ma che diminuiscono drasticamente l'emissione quando sono completamente asciutti.

La formaldeide, le sostanze che hanno cattivo odore, la muffa, la polvere, lo sporco e le fibre minerali comprese quelle di amianto, sono esempi di inquinanti dell'aria che possono essere assorbiti o accumulati sulla superficie di molti materiali ed essere successivamente rilasciati nell'aria, anche dopo la rimozione della fonte primaria di contaminante.

La presenza in un ambiente di materiali dotati di elevata capacità assorbente può costituire un fattore di rischio maggiore; vaste estensioni di superfici porose, con caratteristiche di assorbimento elevato, influiscono sulle manifestazioni irritative alle mucose delle persone, in modo più rilevante degli altri fattori tradizionalmente considerati, come la temperatura, l'umidità relativa, la velocità dell'aria, l'elettricità statica, la polvere, i composti organici volatili, la formaldeide, le condizioni acustiche e di illuminazione.

L'area totale di superficie assorbente divisa per il volume della stanza individua il *fleece-factor*, cioè il modo di esprimere la presenza, per esempio, di moquette o di rivestimenti tessili murali. Questo fattore può essere utilizzato come indicatore di una probabile problematicità del clima interno.

La temperatura e l'umidità dell'aria influiscono sui processi di assorbimento e rilascio delle sostanze volatili da parte dei materiali. Inoltre, in presenza di elevata umidità, i processi di emissione sono più rilevanti.

L'interferenza tra i materiali e loro influenza sulla qualità abitativa, relativa alla SBS apre una serie di considerazioni sulla progettazione ex novo e sulla bonifica degli ambienti.

La necessità di produrre basse emissività è legata alla scelta dei materiali.

Il progettista deve prevedere l'impiego di sistemi tecnologici e prodotti che non rilascino sostanze inquinanti nell'aria, nonché progettare globalmente gli ambienti, occupandosi in modo unitario di materiali edilizi, finiture, arredi e caratteristiche del microclima.

Al fine di facilitare l'iter di selezione dei materiali da impiegare in una costruzione ecocompatibile, sono stati tabulati tutta una serie di parametri che gli operatori del settore sono soliti trascurare, e che invece rappresentano i criteri basilari di selezione e scelta dei materiali stessi in sede operativa dal punto di vista bioecologico e progettuale.

Nella tabella 7, che segue, sui Materiali da costruzione, a ciascun parametro è stato assegnato un valore da 1 a 3, dove il valore 3 sta a significare che il materiale è dotato di tutti i requisiti ecologici richiesti.

Tab. 7 – CLASSIFICA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

MATERIALE DA COSTRUZIONE		A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	VOTO
1	Legno (massiccio)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.0
2	Sughero	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.0
3	Lastre di legno truciolare	1	1	2	2	3	3	3	3	-	1	2	3	2	0	1	-	1.9
4	Lastre di fibra (alta densità)	1	2	3	2	3	3	3	2	-	1	2	3	2	2	2	-	2.3
5	Pannelli impiallacciati	2	2	3	2	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2	-	2.3
6	Pannelli di lana di legno (con magnesite)	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	-	2.7
7	Lastre di fibra (bassa densità)	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	-	2.7
8	Prodotti di fibre di cocco	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	2.8
9	Lana minerale (di scorie)	0	0	0	0	0	2	3	3	-	0	0	3	-	-	0	-	0.9
10	Lana di vetro (bachelizzata)	0	0	0	0	3	1	3	3	-	0	0	3	-	0	0	0	0.9
11	Espansi sintetici (polistirolo)	0	0	0	0	3	0	3	3	0	1	0	3	0	0	0	0	0.8
12	Prodotti in PVC (rigido)	0	0	0	0	3	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	-	0.6
13	Colle sintetiche	0	0	0	0	3	0	-	-	-	0	0	3	0	0	0	-	0.5
14	Smalti sintetici	0	0	0	0	3	0	-	-	-	0	0	-	0	0	0	-	0.3
15	Vernici impregnanti	0	0	0	1	3	3	-	-	-	3	3	-	-	0	0	-	1.3
16	Prodotti di cera d'api	3	3	3	3	3	3	-	-	-	3	3	-	3	3	3	-	3.0
17	Cartone catramato	1	0	1	1	3	3	-	-	0	0	0	-	-	1	0	-	0.9
18	Barriere al vapore (lamine)	0	0	0	0	3	0	-	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0.3
19	Manufatti in laterizio (laterizi forati)	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	-	2.5
20	Argilla	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3.0
21	Prodotti ceramici (non smaltati)	2	2	2	2	2	3	1	2	-	1	0	3	-	3	3	-	2.0
22	Cemento armato	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3	0	0	-	0.4
23	Blocchi cavi (alleggeriti con pomice)	1	0	1	2	0	2	2	2	-	2	1	0	-	3	3	0	1.1
24	Gesso (lastre di gesso chimico)	0	0	0	1	0	-	1	2	0	2	2	3	-	3	1	0	1.1
25	Malta di cemento	1	0	2	1	1	3	1	2	-	1	2	0	1	3	1	-	1.4
26	Malta di calce	2	2	3	2	2	3	1	2	-	2	3	2	2	3	2	-	2.2
27	Pietra arenaria	1	2	3	2	3	3	2	2	-	1	2	1	-	3	2	-	2.0
28	Intonaco sintetico	0	0	0	1	-	0	1	2	-	0	0	3	0	0	0	-	0.5
29	Linoleum	1	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	-	2.3
30	Vetro	0	1	1	0	3	0	0	0	-	0	0	3	0	3	3	-	1.0
31	Lastre di cemento - amianto	1	0	0	1	1	-	2	2	0	1	2	3	-	3	1	0	1.2

Tabella tratta dagli Atti del Convegno sull'Architettura Ecocompatibile – Anton Schneider (Istituto per l'edilizia biologica e l'ecologia)

- A Materiale da costruzione
- B Conoscenza sperimentale
- C Ecologicità
- D Fabbisogno energetico
- E Radioattività
- F Comportamento al fuoco
- G Proprietà termiche
- H Proprietà acustiche
- I Permeabilità alle microonde
- K Diffusione/traspirazione
- L Igroscopicità
- M Contenuto di umidità
- N Assorbimento/Rigenerazione
- O Vapori o gas tossici
- P Odore
- Q Resistenza superficiale del corpo umano

UNITÀ DI MISURA DELL'INQUINAMENTO INTERNO

Indipendentemente dalle unità indicate per la determinazione della concentrazione degli inquinanti in un ambiente confinato (mg/mc o g/mc o Bq/mc), o per la determinazione delle emissioni da parte di un componente edilizio (mg/mq), sempre nell'ottica della sindrome degli edifici insalubri, P.O. Fanger ha indicato due unità di misura di inquinamento interno. In un ambiente interno molteplici possono essere le emissioni nocive che determinano disagio o malessere agli abitanti; tale sommatoria di emissione potrebbe essere difficilmente determinabile in ogni suo specifico elemento, ma in effetti essa, complessivamente potrebbe essere abbastanza forte da provocare anomalie. Le due unità di misura di Fanger indicano il grado di inquinamento interno nel suo complesso e sono: *l'olf*, basato essenzialmente sulle percezioni olfattive, esprime la quantità inquinante di una sorgente (la sigla deriva dal latino *olfactus*) e definisce la quantità standard di bioemissioni emanate da una persona. La sorgente campione è un individuo normale adulto in attività sedentaria, in condizioni di benessere termico, e standard igienico pari ad almeno 5 bagni la settimana. Variando l'attività della persona varia la bioemissione, come indicato dalla tabella 8.

Tab. 8

Attività	Olf
Persona seduta in quiete	1.00
Persona in lento movimento	5.00
Persona in movimento veloce	11.00
Fumatore che fuma	25.00
Fumatore che non fuma	6.00

Il numero di olf esprime la quantità di fastidio provocato da bioemissioni umane equivalente alla stessa quantità di fastidio provocato dalla fonte di inquinamento. Se consideriamo un ambiente in cui vi sia una persona standard con una bioemissione di 1.00 olf e la sottoponiamo ad una ventilazione variabile da 5 a 45 litri di aria al secondo, vediamo che la percentuale di insoddisfazione (disagio) decresce rapidamente dal 50% al 10%, solo con un aumento di ventilazione da 5 a 20 litri/sec. Pertanto il livello di inquinamento decresce rapidamente con la ventilazione. Fu quindi introdotta un'altra unità di misura chiamata *pol* (dal latino *pollutio*) che indica la quantità d'aria inquinata creata da 1.00 olf con una ventilazione di 1,00 litri d'aria al secondo (1 pol = 1 olf/(1 lt/sec). Correlato con questa unità di misura è il *decipol* che indica l'inquinamento di una persona (1.00 olf) che viene percepito in un ambiente nel quale vi sia una ventilazione limite di 10 lt/sec di aria non inquinata. Un decipol risulta quindi pari a 0.1 olf/(lt/sec). Più basso è il valore in decipol in un ambiente, più salubre risulta la sua aria interna come indicato dalla tabella 9 che riporta i valori della salubrità degli ambienti espressa in decipol.

Tab. 9

Ambiente	Decipol
Aria esterna in montagna	0.01-0.10
Aria esterna in città	0.01-1.00
Aria interna in edifici salubri	1.00-9.00
Aria interna in edifici malati oltre	9.00

In base al valore determinato in olf si può calcolare la quantità minima di aria di ventilazione in un ambiente interno.

Attualmente è in fase di revisione la *Normativa UNI* che riguarda le portate d'aria di rinnovo e quelle generali, basate sul rinnovo d'aria ambientale, in volume ambiente/ora.

I requisiti concernenti la qualità dell'aria riportati nel *Compendium of Model Provisions for Building Regulations* dell'ECE (Economic Commission for Europe) non prescrivono la quantità accettabile di sostanze inquinanti nell'aria degli ambienti interni, ma stabiliscono la quantità d'aria fresca che deve essere immessa e la quantità di quella viziata che deve essere estratta. Generalmente ci si basa su un tasso di ventilazione di 0.50 volume ambiente/ora con una umidità relativa variabile dal 25 al 50%. Inoltre si stabilisce la dimensione minima del volume dei locali abitabili.

VALORI LIMITE

In tutti i paesi che hanno iniziato lo studio della salubrità dell'aria negli ambienti confinati, sono state messe a punto una serie di tabelle che consigliano i valori di accettabilità o le soglie da non superare dei vari inquinanti presi in considerazione, (WHO, EPA, ASHRAE, la Guida Canadese). I valori suddetti sono di due tipi:

- *l'Alter (Acceptable long time exposure range)* indica il valore di concentrazione dell'inquinante al quale una persona può essere esposta durante la sua vita senza un eccessivo rischio per la sua salute;
- *l'Aster (Acceptable short time exposure range)* indica il valore di concentrazione dell'inquinante accettabile per l'esposizione di una persona in un breve periodo specificato (ora, giorno, ecc.).

Nella tabella 10 sono riportate le concentrazioni di riferimento per gli inquinanti di più frequente monitoraggio unitamente alla fonte da cui il dato è stato tratto. Non sempre standard o riferimenti normativi differenti riportano gli stessi "valori guida". Va comunque ancora una volta ricordato che i valori riportati nella tabella sono da intendersi come linee guida, o raccomandazioni, per il controllo di potenziali effetti sulla salute; essi comunque non garantiscono né la totale assenza né la certezza della manifestazione di disturbi e/o lamentele da parte degli occupanti un edificio.

Tab. 10

INQUINANTE	Olanda	Canada	Norvegia	EUROPA	USA	
				WHO	ASHRAE	EPA
Formaldeide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	120 (30 min.)	120	60	100 (30 min.)	100 (30 min.)	-
Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150-200 (1 ora)	240 (1 ora)	-	150-200 (1 ora)	100 (long term)	235 (1 ora)
	100-120 (8 ore)			100-120 (8 ore)	235 (1 ora)	
Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	-	-	5 (8 ore)	-
CO ² (mg/m^3)	-	6.300	1.800	-	1.800	-
CO (mg/m^3)	10 (8 ore)	13 (8 ore)	10 (8 ore)	10 (8 ore)	10 (8 ore)	10 (8 ore)
	40 (1 ora)	29 (1 ora)	25 (1 ora)	30 (1 ora) 60 (30 min.) 100 (15 min.)	40 (1 ora)	40 (1 ora)
Particolato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	→ PM 10	-	40 (anno)	-	50 (anno)	50 (anno)
					140 (24 ore)	150 (24 ore)
	→ PM 2,5	-	40 (long term)	-	-	-
					100 (1 ora)	-
→ TOTALE			90 (8 ore)	120 (24 ore)		
Toluene (mg/m^3)	-	-	-	0,26 (1 settimana)	-	-
Stirene (mg/m^3)	-	-	-	0,26 (1 settimana)	-	-
Tetracloroetilene (mg/m^3)	-	-	-	0,25 (media su 24h)	-	-
VOC totali ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	400	300-3000 (CEN, 1994)	-	-

Quadro sinottico degli Standard per il controllo della qualità dell'aria indoor
(Modificato da "Salute e qualità dell'aria negli edifici", M. Maroni, Masson ed., 1998).

Le “Guidelines for air qualità in Europe” del WHO sono state designate alla protezione della popolazione generale e riguardano un grande numero di sostanze (WHO, 1987, 1996). Esse risultano di buona applicazione anche nell’ambiente indoor, almeno per i parametri che sono in esse considerati.

Gli standard dell’EPA sono stati designati alla protezione della popolazione generale e sarebbero applicabili all’ambiente indoor, ma riguardano un numero molto limitato di sostanze.

Gli standard dell’ASHRAE hanno la caratteristica di essere stati sviluppati specificatamente per gli ambienti confinati, ma riguardano un numero limitato di sostanze ed applicano una definizione di comfort piuttosto limitativa (80% di soddisfatti).

Le Guidelines for Canada rappresentano un esempio coerente di normativa per l’indoor, sviluppata specificatamente per l’ambiente residenziale e possono essere applicate anche agli ambienti ad uso ufficio. Il Canada è stato il primo paese ad introdurre ufficialmente degli standard specifici per gli ambienti indoor residenziali, superando il semplice concetto di standard di ventilazione (aria primaria per persona o per metro quadrato) che invece era in uso in precedenza.

Nel nostro paese non esistono standard di questo tipo e pertanto l’unico riferimento possibile è agli standard per l’aria esterna, che tuttavia riguardano solo il particolato ed alcuni gas inorganici.

E’ oltremodo interessante l’esperienza particolare dell’inserimento di parametri di riferimento all’interno di Capitolati Speciali d’Appalto riguardanti opere edilizie inerenti le residenze soprattutto se pubbliche. Al proposito si riporta di seguito quanto elaborato nel CSA per Opere di BioEdilizia dell’Arch. Mauro Masi (IACP di Roma) – Ed. DEI-Multimedia, Tipografia del Genio Civile, Roma 2001.

Nella tabella 11 sono riportati tutti i parametri ambientali e i valori limite.

Tab. 11

PARAMETRI AMBIENTALI	VALORI LIMITE
PARAMETRI MICROCLIMATICI	
Situazione invernale	
Ta	20°C +/- 1°C
UR	50% +/- 10%
Va	Max 0,15 m/s
Gvta	Max 3°C
Situazione estiva	
Ta	25°C +/-1°C
UR	50% +/- 10%
Va	Max 0,25 m/s
Gvta	Max 3°C
INQUINANTI CHIMICI	
CO	27 mg/mc
CO2	4.500 mg/mc
SO2	6 mg/mc
NO	15 mg/mc
NO2	4 mg/mc
O3	1 mg/mc
HCHO	2 mg/mc
VOC ¹	2 mg/mc
VOC ²	380 mg/mc
VOC ³	217 mg/mc
Particelle respirabili ¹	500 µg/mc
Particelle in sospensione ²	100 µg/mc
Silicati fibrosi	0,05 ff/cmc ³
INQUINANTI FISICI	
Campi elettromagnetici in alta frequenza	0,5 V/m
Campi elettrici in bassa frequenza	5 V/m
Campi magnetici in bassa frequenza	0,1 µT
Gas radon	75 Bq/mc
INQUINANTI BIOLOGICI	
Carica batterica totale	
MOLTO BASSO	< 50 CFU ⁴ /mc
BASSO	50-100 CFU/mc
MEDIO	100-500 CFU/mc
ALTO	500-1000 CFU/mc
MOLTO ALTO	>2000 CFU/mc
Carica micetica totale	
BUONO	<100 CFU/mc
INTERMEDIO	100-1000 CFU/mc
ELEVATO	>1000 CFU/mc

Fonte: Elaborazione tabelle tratte dal "Capitolato Speciale d'Appalto per opere di Bioedilizia", M.Masi, Ed.DEI – Multimedia, Tipografia del Genio Civile, Roma Ed. 2001.

* VOC1 = Benzene; VOC2 = Toluene; VOC3 = Xilene

¹ Sigarette, aerosol, cucine.

² Combustione e riscaldamento (senza fumatori)

³ Polvere di amianto espressa come numero di fibre per cmc

⁴ CFU = Unità formanti colonie

L'ASHRAE, oltre a considerare tutti gli studi in atto sulla corrispondenza causa-effetto all'esposizione a particolari sostanze, ha riportato nella tabella C-2 le Guidelines e gli Standard riguardanti l'ambiente interno (tabella 12).

Tab. 12

	Canada	WHO (Europe)	NAAQS (EPA)	NIOSH	OSHA	ACGIH	MAK
Formaldeide (ppm)	0.1 (I) 0.05 (I) ^b	0.08 I (30 m)		0.016 0.1 (15 m)	0.75 2 (15 m)	0.3 (c)	0.05 1 (5 m)
Diossido di carbonio (ppm)	3.500 (I)	/	/	5.000 30.000 (15 m)	10.000 30.000 (15 m)	5.000 30.000 (15 m)	5.000 10.000 (1 h)
Monossido di carbonio ^c (ppm)	11 (8 h) 25 (1 h)	87 (15m) 52 (30m) 26 (1 h) 8,7 (8 h)	9 ^g 35 ^g (1h)	35 200 (c)	35 200 (5 m) 1500 (c)	25	30 60 (30m)
Ozono (ppm)	0.12 (1h)	0.08 - 0.1 (1h) 0.05 - 0.06 (8h)	0.12 (1h)	0.1 (c)	0.01 0.3 (15m)	0.05 0.2 (15m)	0.1 0.2 (5m)
Particolato ^d <2.5 MMAD ^d (µg/m ³)	0.1 (1h) 0.04 (I)	/	/	/	5	3	/
Particolato ^e <10 MMAD ^d (µg/m ³)			0.05 (1 anno) 0.15 (24h) ^g		/	10	/
Particolato totale (µg/m ³)	/	/	/	/	15	/	/

Legenda: m: minuti; h: ore; c: di punta; I: a lungo termine. Il tempo medio è pari a 8 ore.

- b. Livello limite di 0.05 ppm a causa del suo effetto cancerogeno. Aldeidi totali limitate a ppm.
- c. La concentrazione del monossido di carbonio in ambienti non industriali è sostanzialmente più bassa.
- d. MMAD: mass median aerodynamic diameter in microns. Minori di 2.5 μ m sono considerate respirabili; minori ai 10 μ m sono considerate inalabili.
- e. Particelle nocive non altrimenti classificate.
- g. Non deve essere superato più di una volta l'anno.

I valori si riferiscono a:

Canada: Recommended maximum exposures for residences (1987)

WHO/Europe: Environmental (non-industrial) guidelines 1987 (Denmark)

NAAQS: Criteria for outdoor air developed under the Clean Air Act by the US-EPA

NIOSH: Recommended maximum exposure for industrial environments

OSHA: Enforceable maximum exposures for industrial environments

AGCIH: Recommended max exposures for industrial environments (40 ore/settimana, singola esposizione)

MAK: Recommended maximum exposures for industrial environments

STRUMENTI E METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

Il primo e più noto metodo per la valutazione della qualità dell'aria è il *Qualitel*, messo a punto in Francia nel 1973. Esso si basa su parametri ritenuti indicatori di qualità. In alcuni Paesi del Nord Europa, in particolare in Olanda, sono correntemente utilizzati modelli per la valutazione della qualità tipologica, tuttavia, si tratta di metodi valutativi statici che fanno riferimento a un utente ideale unificato. Recentemente, sono state definite alcune procedure post-abitative che hanno il vantaggio di restituire la materia in tutta la complessità delle interazioni e in relazione al livello di soddisfacimento degli abitanti.

Un modello particolare di valutazione post-abitativa è quello che ha come obiettivo la valutazione della qualità dell'aria interna, dell'eventuale inquinamento e del rischio di "sindrome da edificio malato". La procedura è suddivisa in diversi livelli di approfondimento. La versione più completa comporta quattro condizioni per dar luogo all'attività diagnostica: la conoscenza dell'organismo da valutare e di tutte le sue variabili, la disponibilità di metodologie e di strumentazioni appropriate, l'abilità nell'interpretare i risultati e le misurazioni, la capacità di prevedere le prestazioni nel tempo. Ognuna di queste condizioni identifica un livello della diagnosi, a sua volta suddivisibile in tre fasi: (I) consultazione, (II) diagnostica qualitativa, (III) diagnostica quantitativa. Un punto essenziale è costituito dall'individuazione dei criteri in base ai quali l'edificio e i suoi impianti possono essere valutati e correlati. Tali criteri devono essere accuratamente stabiliti e integrati in relazione con i quattro momenti della vita di un edificio: progetto, costruzione, gestione e manutenzione, ristrutturazione e riuso. Per il momento progettuale, la diagnostica si riferisce ad un edificio virtuale ed è determinante l'ausilio di modelli informatici per prefigurare le prestazioni dell'edificio in relazione alle sue caratteristiche. Procedure diagnostiche complete sono necessarie e particolarmente significative nella valutazione della qualità dell'aria di edifici di notevole dimensioni e complessità, destinati al terziario e dotati di impianto di climatizzazione. In questi casi, dovendosi valutare le prestazioni dell'organismo edilizio e dei suoi impianti in relazione alle esigenze di benessere degli abitanti, esse finiscono con l'assumere anche un ruolo determinante nella valutazione globale della qualità. Per gli edifici più semplici, destinati ad uso abitativo, le procedure diagnostiche sono più dirette, si preferiscono valutazioni intuitive, basate sulla rilevazione del parere degli abitanti, sul loro eventuale stato di malessere, sulla loro percezione sensoriale o sulla presenza di alcune condizioni palesi di rischio. Anche nelle procedure diagnostiche più complesse, sono le valutazioni intuitive ad assumere un ruolo essenziale. Le stesse

valutazioni strumentali, sono significative solamente se inserite nella procedura completa che ne definisce gli obiettivi e i livelli di approfondimento richiesti.

Le valutazioni intuitive

Come sopraccitato, la diagnosi intuitiva riveste notevole interesse per alcune ragioni:

- sostituisce a volte le valutazioni strumentali e le procedure complesse nella diagnosi degli edifici semplici ad uso abitativo;
- deve essere sempre praticata, anche nelle procedure complesse, sia nella fase preliminare che per la sintesi dei risultati;
- la rilevazione dello stato di malessere negli abitanti consente di evidenziare il risultato sinergico di fonti inquinanti di diversa origine, spesso non riconoscibili separatamente per via strumentale;
- l'osservazione di alcune condizioni palesi di rischio, consente di riferire il problema della qualità dell'aria interna, ad un quadro più complessivo, assurgendo l'osservazione, a indicatore della più generale qualità abitativa.

Una prima valutazione intuitiva può essere condotta in riferimento alla percezione sensoriale degli stimoli ambientali: alcuni di essi causano reazioni psicologiche, altri, fisiologiche.

Se gli stimoli ambientali che agiscono sui quattro recettori sensoriali di base (termo- recettori, recettori olfattivi, auditivi e visivi) sono contenuti entro certi limiti, la tensione fisiologica risultante, per esempio il controllo vaso-motorio, può essere positiva e piacevole per gli abitanti; se invece vengono superati i limiti dell'accettabilità, se gli stimoli percepiti non sono riconoscibili (ad esempio odori strani) o se intervengono stimoli psico-sociali negativi si crea uno stato di disagio dal quale possono discendere disturbi di diversa importanza. I questionari redatti allo scopo di rilevare i disturbi psico-fisici degli abitanti sono numerosi e riguardano principalmente disturbi dell'apparato respiratorio e disturbi psico-somatici.

Queste indagini, vengono avviate generalmente solo se l'edificio ha già arrecato disturbi identificabili e persistenti negli abitanti (per almeno due settimane, sul 20% dei soggetti) e così numerosi da riconoscerne le cause. Più semplici e dirette sono le indagini, condotte anche su pochi soggetti, che fanno riferimento ad alcune condizioni oggettivamente riscontrabili nell'edificio, note come segni inequivocabili di inquinamento; per esempio: caratteristiche insediative, interventi di ristrutturazione, modalità di manutenzione e di pulizia, segni evidenti di degrado.

Le valutazioni strumentali

I metodi adottati per le misurazioni negli ambienti industriali o per l'ambiente esterno non possono essere impiegati negli ambienti civili dove, anziché pochi inquinanti noti ed in elevate concentrazioni, si trovano centinaia di sostanze, spesso sconosciute, e ciascuna in così bassa concentrazione che gli strumenti usuali non riescono ad individuarle; soprattutto non evidenziano il loro effetto sinergico. Inoltre è difficile sistematizzare le strategie e le modalità del rilevamento a causa dell'estrema varietà degli spazi individuali con differenti sorgenti e modelli di inquinamento. Anche per questa ragione vengono adottate solo negli edifici complessi all'interno di procedure articolate. Per evitare disagi agli abitanti, non è possibile introdurre apparecchiature ingombranti e rumorose; se l'analisi dell'inquinamento interno richiede una fase di campionatura in loco è indispensabile ricorrere a numerose misurazioni effettuate con strumenti di piccola dimensione, (ideali sono i rilevatori portatili) che prevedano una fase successiva di separazione-identificazione condotta in laboratorio.

Quanto alla strumentazione, lo schema della tabella 13 riporta la suddivisione delle strumentazioni diagnostiche per il rilievo dell'inquinamento indoor in cinque classi di appartenenza, in relazione alle dimensioni ed al peso dell'apparecchiatura.

Tab. 13

*La strumentazione diagnostica per il rilievo
dell'inquinamento indoor*

TIPO	NOTE	PREGI	DIFETTI
Personale	L'unità può essere "indossata" dall'operatore o da uno o più utilizzatori dell'edificio durante lo svolgimento delle loro attività	1. Estrema maneggevolezza 2. Possibilità di utilizzo fisso o mobile	1. Poca affidabilità 2. Facilità di "Inquinamento" dei dati
Portatile attivo	L'unità può essere spostata durante l'analisi; richiede un'apparecchiatura aggiuntiva di convogliamento dell'aria al suo interno	1. Affidabilità 2. Possibilità di utilizzo fisso o mobile	1. Peso 1. Ingombro, specie nel caso in cui la parte ventilante sia in un corpo separato 3. Richiede una fonte di energia per il funzionamento
Portatile passivo	L'unità può essere spostata durante l'analisi; non richiede apparecchiature aggiuntive (acquisizione per diffusione del gas)	1. Affidabilità 2. Possibilità di utilizzo fisso o mobile 3. Non fa uso di fonti di energia esterne	1. Peso 2. Tempo di campionamento
Stazionario attivo	L'unità deve operare in una posizione fissa per essere in grado di fornire risultati affidabili; necessita di impianto di convogliamento del campione d'aria all'interno dello strumento	1. Buona affidabilità 2. Possibilità di più campionamenti contemporaneamente 3. Minore influenzabilità rispetto a situazioni accidentali	1. Ingombro 2. Necessità di privilegiare il posizionamento rispetto alle attività del locale
Stazionario passivo	L'unità deve operare in una posizione fissa per essere in grado di fornire risultati affidabili; non necessita di impianto di convogliamento	1. Buona affidabilità 2. Possibilità di più campionamenti contemporaneamente 3. Minore influenzabilità rispetto a situazioni accidentali anomale 4. Non fa uso di fonti di energia esterne	1. Ingombro 2. Tempo di campionamento 3. Necessità di privilegiare il posizionamento rispetto alle attività del locale

Le strumentazioni personali portatili sono maggiormente indicate nel caso di campionamenti in edifici in uso, in quanto le ridotte dimensioni e il peso minimo consentono di spostare l'apparecchiatura e di eseguire campionamenti in varie parti dell'edificio senza dover disporre di numerose apparecchiature fisse. L'accuratezza e l'attendibilità dei campionamenti aumentano

scorrendo verso il basso le righe della tabella. Le strumentazioni stazionarie passive e attive possono inoltre campionare contemporaneamente diverse sostanze, anche se la loro immobilità non permette di effettuare campionamenti in più punti dell'edificio con la stessa apparecchiatura. Inoltre l'ingombro dell'apparecchiatura può modificare i flussi d'aria all'interno di piccoli ambienti lavorativi dove il campionamento deve avvenire durante gli orari di lavoro e ciò può comportare qualche sfasamento dei risultati della campionatura. Per quanto riguarda la strumentazione di tipo personale, al pregio dell'estrema maneggevolezza si unisce il difetto della poca attendibilità e accuratezza della misurazione, spesso tali strumenti sono tarati per intervalli di temperatura e umidità relativa molto limitati. In aggiunta a questo, nel momento in cui vengono indossati dall'operatore o dall'utente stesso possono essere influenzati da sostanze presenti nei tessuti dei vestiti, nei profumi e nei prodotti cosmetici, di cui rimangono tracce in grado di incidere anche in maniera apprezzabile sul risultato del campionamento.

TECNICHE DI BONIFICA PER L'ATTENUAZIONE DELL'INQUINAMENTO INTERNO

Un edificio è un sistema e come tale va studiato e trattato nella totalità delle sue interazioni, non si deve agire su una delle sue parti senza considerare le ricadute sulle altre. Non si deve agire sulla qualità dell'aria senza considerare le implicazioni nella gestione anche energetica dell'edificio; infine è necessario verificare che non si combatta una sostanza o una fonte inquinante adottando tecniche che possano avere ricadute negative sugli elementi costruttivi degli edifici o che a loro volta contaminano l'aria.

Gli interventi di bonifica coinvolgono diverse categorie di operatori: i produttori di materiali per l'edilizia, ai quali spetta il compito di proporre prodotti sostitutivi e materiali di protezione, verificati dal punto di vista della loro eventuale nocività; le imprese, che devono acquisire le conoscenze necessarie per eseguire le operazioni di bonifica senza aggravare maldestramente la qualità ambientale, ossia devono predisporre un repertorio di tecniche alternative;

gli impiantisti, particolarmente interessati, sia per l'allestimento di sistemi per la pulizia dell'aria, che per la manutenzione, la modifica e l'integrazione degli impianti esistenti; infine, gli specialisti nella diagnostica e nel trattamento delle diverse fonti inquinanti.

Le tecniche per l'attenuazione dell'inquinamento interno possono agire direttamente sulle fonti inquinanti oppure trattare globalmente l'aria inquinata; è preferibile agire direttamente sulla fonte, evitando che le sostanze inquinanti raggiungano l'aria. Alcuni inquinanti e alcune fonti ammettono le due soluzioni: nella maggior parte dei casi, la scelta è condizionata da vincoli tecnico/economici o guidata da considerazioni strategiche di carattere generale, spesso non è individuabile la sorgente inquinante, così si ricorre al trattamento dell'aria.

Il controllo delle fonti può comportare la loro *rimozione*, con eventuale sostituzione, il *confinamento*, l'*esalazione* delle sostanze inquinanti, l'*incapsulamento*, la *modifica costruttiva* o l'adozione di tecniche appropriate di *manutenzione*.

Il controllo della qualità dell'aria può avvenire, mediante tecniche di *ventilazione naturale o forzata* e può prevedere la *pulizia dell'aria* con assorbimento dei gas e filtraggio delle polveri.

In termini generali si ricorre alla *rimozione* delle fonti quando la loro nocività è tale da provocare disturbi acuti, o quando sia stata accertata la grave pericolosità delle sostanze contenute o altre tecniche di bonifica non offrano garanzie sufficienti. Per la formaldeide, se presente in quantità elevata, è sufficiente la rimozione di una parte dei manufatti che la contengono per ridurre la concentrazione ambientale entro i livelli stabiliti dalle norme; se impiegata in schiume isolanti all'interno delle pareti, deve essere totalmente rimossa.

Il problema prioritario connesso a questa tecnica, consiste nel fatto che durante la rimozione dei manufatti, è indispensabile evitare che la movimentazione o la lacerazione degli elementi aggravi le condizioni ambientali; infine, all'ultimazione dell'intervento, è necessario verificare il livello di inquinamento ancora presente ed eventualmente provvedere ad attenuarlo con tecniche di diluizione o di pulizia dell'aria.

Il *confinamento* delle emissioni inquinanti può essere realizzato, innanzitutto, a livello distributivo, creando spazi specifici per le diverse attività (locali per macchine fotocopiatrici, eliocopie, apparecchi a combustione ecc.). Oppure può essere attuato con la messa in opera di rivestimenti protettivi (controsoffittature che, nel caso di solai isolati con amianto, possano impedire il rilascio delle fibre nell'ambiente).

L'*esalazione* riguarda soprattutto i prodotti della combustione ed è l'unico strumento possibile di protezione quando la fonte inquinante, per esempio stufe, caminetti o fornelli, non può essere confinata. Esperimenti condotti hanno dimostrato che l'installazione di una cappa riduce almeno del 77% i contaminanti provenienti da una cucina a gas. Esalazioni e sconfinamento, sono adottati anche nei confronti delle emissioni di radon provenienti dal terreno: si sigilla la prima soletta e si provvede alla ventilazione dello spazio sottostante per dirottare le emanazioni gassose prima che entrino nell'abitazione.

Con la tecnica dell'*incapsulamento*, la sorgente inquinante è racchiusa entro l'involucro impermeabile alle emissioni. Inapplicabile con sorgenti meccaniche, questa tecnica può consistere anche nella semplice verniciatura dei manufatti. E' necessario comunque verificare che, a sua volta, la vernice protettiva non sia fonte di composti volatili organici. Questa tecnica viene utilizzata anche prima della rimozione di alcuni manufatti (esempio pannelli fibrosi) per evitare che la loro manipolazione durante l'operazione di bonifica aggravi il livello di inquinamento dell'aria.

Nei confronti degli apparecchi da combustione e degli impianti di climatizzazione, la *manutenzione e la pulizia* frequenti, programmate e correttamente condotte sono fondamentali per evitare l'accumulo di sostanze inquinanti e quindi la loro messa in circolo; nei confronti dei materiali di finitura e arredo, la pulizia deve rispettare alcune regole per evitare che peggiori l'inquinamento ambientale, anziché migliorarlo. Infine, per quanto riguarda gli apparecchi da combustione, il rischio espositivo può essere ridotto programmandone il funzionamento entro livelli prestabiliti di tempo, provvedendo contemporaneamente alla ventilazione.

Si ricorre alla *modifica costruttiva* dell'edificio per la protezione dal radon e soprattutto per combattere umidità e muffe; per questi ultimi inquinanti si adottano le tecniche per il risanamento degli ambienti umidi, già note nel campo della ristrutturazione edilizia.

Tra le tecniche di controllo della qualità dell'aria interna, una delle più immediate consiste nel *diluirle* con quella esterna, generalmente meno inquinata, mediante *ventilazione naturale o meccanica*. Le diverse normative nazionali si sono espresse nella determinazione dei tassi di ventilazione che soddisfino le esigenze di diluizione e, contemporaneamente quelle di controllo dei consumi energetici. Anche l'impiantistica attuale è in grado attraverso miscelazione e ventilazione, di assicurare una qualità accettabile dell'aria interna con minimo impegno economico. E' però necessario adottare numerosi criteri cautelativi nel progetto degli impianti affinché questi non divengano ulteriore causa di inquinamento. Oltre a essere diluita, l'aria può essere chiarificata rimuovendone le particelle sospese (fibre, prodotti della combustione, polvere, pollini) dannose non solo di per se stesse, ma anche in quanto veicoli per altri inquinanti (radon, composti organici volatili). I dispositivi di filtraggio possono essere inseriti all'interno dell'impianto di climatizzazione oppure all'esterno. Spesso si adottano generatori di ioni e campi elettrostatici per far depositare le particelle che vengono poi raccolte.

Le concentrazioni più elevate di inquinanti chimici possono poi essere abbattute mediante apparecchiature complesse che realizzano l'assorbimento chimico di gas, la ventilazione dei vapori, il lavaggio dell'aria. Queste apparecchiature sono molto costose e finora hanno trovato impiego solo in ambienti pubblici di rilievo o in locali ospedalieri. I tentativi di miniaturizzare queste unità all'interno delle abitazioni hanno condotto a risultati poco soddisfacenti e con costi di installazione e di gestione elevati.

COME AFFRONTARE IL PROBLEMA

L'inquinamento degli ambienti confinati si presenta come un problema complesso, non è imputabile ad un'unica causa; sono molti i processi ed i fattori che lavorando sinergicamente, hanno determinato la nocività dell'aria interna. La responsabilità di questo peggioramento è attribuibile:

- a una minore attenzione dei progettisti nella localizzazione degli edifici;
- alla scelta di inadeguate soluzioni tecniche ed alla mancata applicazione delle buone regole del costruire;
- alle misure per il contenimento dei consumi energetici degli edifici, quali una maggiore sigillatura dei serramenti e, contemporaneamente, una diminuzione della ventilazione; all'impiego di materiali innovativi, spesso provenienti da altri campi e non sufficientemente testati per l'uso in edilizia;
- alla realizzazione di costruzioni leggere, apprezzate per i costi ridotti, per la velocità di esecuzione e per il guadagno di superficie utile, ma che necessitano di impianti di climatizzazione.

Per finire, persino alcuni modi d'uso del costruito costituiscono diverse facce di un solo problema. Due i versanti di possibile attività: l'intervento sul costruito e l'intervento nelle nuove costruzioni.

INTERVENTO SUL COSTRUITO

La crescita delle città non è più vistosa, anzi; la trasformazione e la ristrutturazione sembrano essere gli elementi dominanti. In Europa il comparto della riqualificazione (ristrutturazioni, rinnovi e manutenzioni) copre in media il 40% circa in valore rispetto alla produzione del nuovo. La situazione italiana presenta un mercato del rinnovo che apre prospettive allettanti: nel 1995 sono stati spesi 86.580 miliardi di vecchie lire in attività di manutenzione straordinaria, restauro e ristrutturazioni, confermando così il recupero come primo mercato del settore delle costruzioni, con il 52,8% del totale degli investimenti; nel giro di dieci-quindici anni si prevede che il peso del recupero sul totale salirà all'80%. All'interno del comparto del recupero spicca quello degli edifici residenziali, con un valore della produzione di circa 45 mila miliardi di vecchie lire, pari al 27,6% del totale del mercato delle costruzioni. In questi dati inoltre non sono compresi tutti quegli interventi indirizzati a dare una risposta a nuove esigenze qualitative o a introdurre adeguamenti imposti per legge, ma semplicemente destinati a recuperare e mantenere gli standard qualitativi originari. La vastità del campo impone di operare una scelta sugli argomenti da trattare e pertanto si fa riferimento a quattro operazioni che, svolte durante la fase di recupero di un edificio, possano migliorare sensibilmente la qualità dell'aria interna: il controllo dell'umidità, la bonifica da amianto, la riduzione della presenza di radon e sistemi di bonifica da Legionella .

Nella tabella 14 sono riportate alcune scelte tecniche per migliorare la qualità dell'aria negli edifici esistenti.

Tab. 14

Scelte tecniche per migliorare la qualità dell'aria in edifici esistenti

Inquinanti	Fonti o cause	Rimedi
Radon, pesticidi	Attacco a terra Suolo	Sigillazione entrate dal terreno Ventilazione cantine
VOC	Materiali di finitura Arredo	Sostituzione materiali Incapsulamento
Batteri, virus, funghi	Umidità nella costruzione Condensa Scarsa ventilazione	Tecniche di impermeabilizzazione Isolamento termico Ventilazione
Polveri, fibre	Presenza materiali fibrosi Degrado Usura	Sostituzione Manutenzione

L'ELIMINAZIONE DELL'UMIDITÀ ECCESSIVA

L'umidità costituisce da sempre un pericolo per ogni tipo di struttura edilizia; da qui l'importanza tecnica ed economica che viene attribuita alle cause e alle modalità di trasporto dell'umidità nei materiali da costruzione. Ogni preoccupazione è giustificata dai riflessi che un contenuto variabile di umidità può avere nei confronti non solo della durabilità dei materiali, ma anche a livello di alterazione delle loro proprietà tecnologiche e prestazionali, quali la resistenza al gelo, il modulo di elasticità, di conduttività termica, senza dimenticare la proliferazione di muffe e funghi.

Il problema dell'umidità, tipico effetto del degrado edilizio, è dunque fra le cause che determinano l'inquinamento di tipo biologico, e ciò tende a interessare via via sempre di più gli edifici.

Oltre a conoscere le cause che possono determinare la presenza dell'umidità negli edifici, per progettare interventi di risanamento è importante comprendere la provenienza dell'umidità che può essere varia:

- umidità dovuta a condensazione di vapore acqueo interno;
- umidità proveniente dal sottosuolo ed ascendente per capillarità;
- umidità per infiltrazioni dalle strutture dovuta a scarsa impermeabilità alle acque meteoriche.

L'umidità per condensazione si può eliminare con la modifica della temperatura delle frontiere e miglioramento della ventilazione interna. In riferimento all'umidità per condensazione si possono presentare casi diversi:

- umidità presente in edifici con frontiere esterne *molto coibentate* (edifici sigillati). Per diminuire l'umidità dovuta al vapore acqueo prodotto internamente occorre aumentare il numero dei ricambio d'aria ;
- umidità presente in edifici con frontiere esterne *non molto coibentate* (edifici poco sigillati). Per diminuire l'umidità si può aumentare la temperatura superficiale delle frontiere o migliorando la coibentazione termica delle frontiere (avendo cura di non eliminare la traspirazione delle stesse, cioè non bloccando la permeabilità al vapore d'acqua).

L'umidità proveniente dal sottosuolo può essere eliminata, una volta che si è individuato il meccanismo d'immissione, con la realizzazione di *intercapedini aerate* e drenate o impiegando le svariate tecnologie presenti nel mercato.

L'umidità proveniente dalle infiltrazioni di acque meteoriche va eliminata agendo sulle impermeabilizzazioni delle frontiere (orizzontali, inclinate, verticali) e/o sulla rete di smaltimento delle gronde e dei pluviali per evitare ristagni.

BONIFICA DA AMIANTO

Nell'edilizia degli ultimi cinquant'anni c'è stato un impiego massiccio di manufatti contenenti amianto. Sono riconoscibili due categorie principali di manufatti contenenti fibre di amianto:

- i manufatti in matrice cementizia compatta (canne fumarie, tubi per scarichi, lastre piane per controsoffitti o tamponamenti interni, lastre ondulate per la copertura o per le recinzioni);
- rivestimenti a matrice friabile (pannelli a matrice friabile, intonaci coibenti, protettivi del fuoco, protettivi per la condensa).

Vanno anche citati i manufatti di protezione e rivestimento di impianti termici e di condizionamento del microclima, tessuti a base di fibra amianto per porte tagliafuoco, reti filtranti utilizzate in impianti fissi.

La presenza di materiali che contengono amianto non causa effetti nocivi alla salute degli occupanti un edificio, a condizione che tali materiali siano integri; il rischio di rilascio di fibre sussiste nel momento in cui interventi manutentivi, vibrazioni, infiltrazioni d'acqua, variazioni di umidità, danneggiamenti, spostamenti d'aria causati da ventilatori, condizionatori e dall'attività umana, consumo da utilizzo, ne deteriorano le caratteristiche di coesione. E' opportuno durante gli interventi di recupero edilizio valutare anche la necessità di procedere con un'azione di bonifica al fine di impedire che fibre di amianto respirabili si possano liberare nell'aria ed essere successivamente inalate dalle persone.

Secondo la legge (DM Sanità 6 settembre 1994 "Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art.12, comma 2 della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto". Allegato: "Normative e metodologie tecniche per la valutazione del rischio, il controllo, la manutenzione e la bonifica di materiali contenenti amianto presenti nelle strutture edilizie"), è possibile intervenire sui manufatti e sulle opere contenenti amianto operando:

- *la rimozione*, che consiste nella separazione dei manufatti e/o dei materiali con amianto dall'edificio contaminato e nella trasformazione in rifiuto degli stessi, presenta l'indubbio vantaggio di costituire una soluzione definitiva nel tempo. Tuttavia questa è una tecnica complessa, che comporta lunghi tempi di realizzazione e che determina grandi rischi di inquinamento: le possibilità di contaminazione sono molto alte sia per gli operatori coinvolti che per l'ambiente e quindi per i futuri occupanti dell'edificio.

Per limitare i rischi sono necessarie adeguate precauzioni, condizioni d'intervento rigorosamente controllate, idonee protezioni e personale altamente specializzato. Tutto ciò incide in modo gravoso sui costi di realizzazione, pertanto questa soluzione viene di solito attuata quando le altre siano sconsigliabili o inattuabili o qualora si debba intervenire su prodotti friabili come gli intonaci o i rivestimenti di strutture metalliche;

- *il confinamento*, è l'azione secondo cui i manufatti con presenza di amianto, vengono protetti e confinati da manufatti rigidi di opportuna forma e con appropriata tecnica di fissaggio. Se non viene associato ad un trattamento incapsulante il rilascio di fibre continua all'interno del confinamento. Tale soluzione è indicata nel caso di materiali facilmente accessibili, in particolare per la bonifica di aree circoscritte. Tuttavia dato che l'amianto rimane nell'edificio, occorre sempre un programma di controllo e di manutenzione; inoltre la barriera installata per il confinamento deve essere mantenuta in buone condizioni;
- *l'incapsulamento*, che consiste nel trattamento dell'amianto con prodotti penetranti o ricoprenti che, a seconda delle loro caratteristiche, tendono ad inglobare le fibre, a ripristinare l'aderenza al supporto, a costituire una pellicola di protezione sulla superficie esposta. I costi e i tempi dell'intervento risultano più contenuti; non richiede la successiva applicazione di un prodotto sostitutivo e non produce rifiuti tossici. Il rischio per gli operatori coinvolti nell'operazione e per l'inquinamento dell'ambiente è generalmente minore rispetto alla rimozione. Il principale inconveniente è rappresentato dalla permanenza nell'edificio del materiale di amianto e dalla conseguente necessità di mantenere un programma di controllo e di manutenzione.

Con qualsiasi tipo di tecnica si intenda procedere è necessario prestare particolari attenzioni per preservare l'incolumità dei lavoratori addetti e dei residenti.

Il risanamento da amianto delle strutture edilizie è un intervento di alta specializzazione, che non può essere svolto da chi non dispone di adeguata capacità tecnologica.

A differenza di altre situazioni in cui un eventuale intervento disinquinante condotto senza le dovute precauzioni e condizioni potrebbe lasciare invariata la condizione preesistente, nel caso in questione un'operazione non corretta creerebbe condizioni di contaminazione degli ambienti con rischio aggravato per i fruitori dell'edificio.

TECNICHE DI INTERVENTO PER LA RIDUZIONE DEL RADON

Insieme all'amianto, il radon è considerato uno degli inquinanti più pericolosi, è infatti accertata la correlazione fra l'esposizione alla sostanza e l'insorgenza del tumore al polmone, sebbene non si è ancora a conoscenza, nel campo degli effetti biologici delle radiazioni, di alcun "effetto soglia" che permetta di stabilire che al di sotto di un certo livello di radiazioni non venga arrecato alcun danno alle cellule. Accertato che anche nel nostro paese la radioattività naturale, e in modo particolare la concentrazione di radon nelle abitazioni, può costituire un problema in molte situazioni, è opportuno individuare le tecniche più idonee per affrontarlo.

Anche se non è possibile eliminare completamente il radon dagli ambienti di vita è possibile, tuttavia, abbassare considerevolmente la sua concentrazione.

Le procedure da adottare per ridurre il livello di radon nell'edificio, da un lato favoriscono la fuoriuscita del gas dall'interno all'esterno dell'edificio, dall'altro evitano che questo vi entri. Gli interventi che vengono proposti sono diversi:

- *sigillatura delle vie di ingresso*: si tratta di un sistema con cui si tenta di chiudere tutte le possibili vie di ingresso; è possibile realizzare una sigillatura parziale, cioè a carico solo delle fessure, delle giunzioni pavimento-parete, dei passaggi dei servizi (elettrici, termici, idraulici, ecc.) oppure totale, impermeabilizzando tutta la superficie a contatto con il suolo;
- *ventilazione*: un aumento della ventilazione dell'ambiente favorisce la diluizione del gas: essa può essere di tipo passivo o forzata. La *ventilazione naturale o passiva* è un accorgimento che diminuisce la concentrazione del radon attraverso il ricambio continuo dell'aria mediante sistemi di ventilazione naturale complementare (vasistas) o ventilatori;

la *ventilazione forzata* richiede l'ausilio di sistemi di aspirazione forzata o di climatizzazione;

- *pressurizzazione*: in questo caso si aumenta, con l'ausilio di un ventilatore, la pressione interna dell'edificio in modo da contrastare la risalita del radon dal suolo, in questo modo l'aria immessa spinge il gas fuori dall'edificio; si tratta di un metodo utilizzabile quando è presente un *vespaio ventilato* al di sotto dell'edificio, mentre l'incremento della ventilazione può essere realizzato aumentando il numero delle bocchette di areazione; in alcuni casi la semplice pulizia delle bocchette di areazione è sufficiente ad abbassare la concentrazione del radon;
- *depressurizzazione del suolo*: si tratta di realizzare sotto la superficie dell'edificio un piccolo ambiente per la raccolta del radon. Questo pozzetto, o pozzo radon, costituito da mattoni non cementati, con dei larghi fori, viene collegato ad un sistema evacuante, realizzandosi così una depressione che raccoglie il radon attraverso un tubo e lo espelle nell'aria circostante impedendogli il rientro nell'edificio;
- *suzione del sottosuolo*: in alcuni edifici, si provvede al drenaggio al fine di allontanare le acque dal terreno che sono capaci di trasportare radon, utilizzando una tubazione, in genere forata e ad anello continuo, collegata ad un estrattore (pompa) che causando una depressione permette l'estrazione del gas.

I blocchi di cemento cavi, spesso utilizzati per le pareti del piano inferiore delle costruzioni, sono una via d'accesso per il radon, perché le loro cavità stabiliscono una rete di percorsi orizzontali e verticali entro i quali il gas si può distribuire. E' opportuno la ventilazione di tali pareti, consistente nell'aspirare il radon dalle cavità, prima che possa entrare negli ambienti (*suzione delle pareti*) oppure nell'insufflare aria nelle pareti stesse così che il radon non riesca ad entrarvi (*pressurizzazione delle pareti*).

L'efficacia di ogni procedura dipende dalle caratteristiche degli edifici, dal livello di radon presente, dalle vie d'accesso del radon, dalle possibilità tecniche di intervento.

METODOLOGIE DI DISINFEZIONE DA LEGIONELLA

Dopo la ricerca biomedica riguardante la pericolosità del batterio legionella pneumophila, sono state sperimentate svariate metodologie con principi fisici, chimici o basati sull'impiego di specifici prodotti disinfettanti.

Allo stato attuale le numerose sperimentazioni condotte a livello internazionale hanno constatato l'efficacia delle seguenti metodologie:

- Trattamento termico (scock termico e flussaggio);
- Utilizzo di ioni rame ed argento;
- Iperclorazione;
- Radiazione ultravioletta,
- Utilizzo di soluzione stabilizzata di perossido di idrogeno e sali d'argento.

INTERVENTO NELLE NUOVE COSTRUZIONI

Anche se non prevalente, la nuova edificazione rappresenta pur sempre un segmento rilevante della produzione edilizia, soprattutto se pensiamo all'edilizia per il terziario o per le infrastrutture. L'inquinamento di cui soffrono gli edifici esistenti è dovuto in misura importante all'aver adottato nel processo produttivo sostanze, materiali e manufatti non sufficientemente sperimentati sotto il profilo delle emissioni o non sufficientemente collaudati per le ricadute negative che derivano dalla loro specificità. Un caso valga per tutti: i trattamenti di facciata che hanno sigillato le murature impedendone la traspirazione con le conseguenze che abbiamo visto (umidità eccessiva, condense, muffe, ambiente malsano). Ciò detto, è impensabile attendere che sostanze e materiali vengano tutti sottoposti a sperimentazione prima di consentirne un ulteriore uso.

L'intervento deve quindi essere articolato secondo il principio della "migliore tecnologia disponibile". Da un lato vanno comunque eliminati tutti i materiali e le sostanze la cui tossicità e pericolosità è ormai accertata, dall'altra vanno messi in atto tutti gli accorgimenti che consentano in assoluto un miglioramento delle condizioni ambientali interne. Al riguardo va tenuto presente che comunque ci troveremo di fronte ad una sorta di *ostacolo insuperabile* dell'inquinamento dovuto alle emissioni non eliminabili. Contro questo ostacolo non si può intervenire altro che con provvedimenti legati alla morfologia degli ambienti. Non è possibile qui indicare per esteso quali dovranno essere gli accorgimenti morfologici da adottare. Ci limiteremo ad alcune considerazioni generali.

Deve essere innanzitutto garantita una ventilazione adeguata e possibilmente utilizzando sistemi di ventilazione naturale o forzata solo dove indispensabile. Debbono essere garantite destinazioni d'uso ben precise per i singoli locali e soprattutto si deve evitare che i luoghi di permanenza dell'uomo vengano anche utilizzati per il deposito o la conservazione di corredi e sostanze per la pulizia domestica. I locali di cottura debbono possibilmente essere separati e si deve garantire che si trovino sempre in depressione rispetto agli altri locali. Negli uffici vanno separati i luoghi di lavoro da quelli in cui si conserva materiale cartaceo di qualunque tipo o vi siano macchine, come stampanti o fotocopiatrici. Le superfici di pavimenti e rivestimenti dovranno avere una porosità il più ridotta possibile e dove si impiegano moquettes o comunque tessuti da arredamento, questi andranno utilizzati in modo da consentire una corretta pulizia. Anche i locali destinati comunque al solo deposito di suppellettili, oggetti, materiali vari, debbono essere ventilati come gli altri locali. Nella tabella 15 sono riportate alcune tecniche per prevenire l'inquinamento in edifici di nuova costruzione.

Tab. 15

Scelte tecniche per prevenire l'inquinamento in edifici di nuova costruzione

Inquinanti	Fonti o cause	Prevenzione
Radon	Suolo Materiali costruzione	Analisi sul sito Analisi materiali costruzione
VOC	Materiali finitura Arredo	Selezione materiali Tempi di asciugatura Bake-out Condizionamento Materiali
Batteri, funghi, muffe	Parti edilizie Ponti termici Umidità relativa interna	Impermeabilizzazione Isolamento termico Ventilazione
Polveri, fibre	Materiali	Selezione manutenzione programmata

Bisognerà pensare, in conclusione, alla casa e più in generale all'*habitat* chiuso, come ad un sistema complesso e fragile, all'interno del quale ogni scelta, anche quella del detersivo, non è priva di conseguenze per la salute. E' inoltre necessario con coraggio ripensare anche alla forma delle case e degli uffici, privilegiando la complessità non solo degli impianti tecnologici di climatizzazione, ma anche di tutte quelle tecnologie più o meno sofisticate che ci consentono di fare a meno degli stessi, mantenendo però soddisfacenti condizioni di salute e benessere.

Barbara Soccol
Vidali Alessandro

BIBLIOGRAFIA

- G. Moncada Lo Giudice, M. Coppi – *Benessere termico e qualità dell'aria interna*. Masson spa, Milano, 1997
- A. Baglioni, S. Riardi – *Costruzioni e salute*. Franco Angeli, Milano, 1993
- V. G. Colaianni – *Il benessere e la sicurezza negli edifici*. Franco Angeli, Milano, 2000
- AA. VV. - *Manuale di progettazione edilizia, vol. 3, progetto tecnico e qualità*. Hoepli, Milano, 1994
- M. Masi – *Capitolato Speciale d'Appalto per opere di BioEdilizia*. DEI – Multimedia, Tipografia del Genio Civile, Roma, 2001
- AA. VV. – *Costruire edifici sani*. Maggioli Editore, Rimini, 1999
- G. Abbritti, G. Muzi (a cura di) – *Qualità dell'aria interna e salute (Symposium)*. Università degli Studi di Perugia, Istituto di medicina del lavoro. Monduzzi Editore, Perugia, 1991