

# Manuale per l'edilizia sostenibile

La qualità energetico ambientale degli edifici in Toscana

## Capitolo 4 Il benessere psicofisico

### INDICE

Cap 4 Il Benessere Psicofisico nell'ambiente Interno.....	3
4.1 L'Illuminazione naturale, Il colore ed il benessere psico-fisico.....	3
4.2 la qualità dell'aria interna (iaq).....	5
4.2.1 Fonti d'inquinamento degli ambienti interni.....	6
4.2.2 Agenti inquinanti.....	7
4.2.3 Principali tipologie di inquinanti.....	8
4.3 inquinamento elettromagnetico indoor.....	15
Scheda 4.1 Illuminazione naturale .....	18
Inquadramento della problematica.....	18
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	18
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	19
Scheda 4.2 Isolamento acustico di facciata.....	21
Inquadramento della problematica.....	21
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	21
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	22
Scheda 4.3 Isolamento acustico delle partizioni interne.....	24
Inquadramento della problematica.....	24
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	24
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	25
Scheda 4.4 Isolamento acustico da calpestio e da agenti atmosferici.....	28
Inquadramento della problematica.....	28
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	28
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	29
Scheda 4.5 Isolamento acustico da calpestio e da agenti atmosferici.....	31
Inquadramento della problematica.....	31
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	31
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di Progetto .....	32
Scheda 4.6 Inerzia termica.....	33
Inquadramento della problematica.....	33
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	33
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	33
Scheda 4.7 Temperatura dell'aria e delle pareti interne .....	35
Inquadramento della problematica.....	35
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	35
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	36
Scheda 4.8 Controllo dell'umidità delle pareti.....	37
Inquadramento della problematica.....	37
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	37
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	38
Approfondimento della problematica.....	39
Scheda 4.9 Controllo degli agenti inquinanti: Fibre minerali .....	40
Inquadramento della problematica.....	40
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	41
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	41
Scheda 4.10 Controllo degli agenti inquinanti: VOC.....	42
Approfondimento della problematica.....	42
Inquadramento della problematica.....	42
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	43
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	45
Scheda 4.11 Controllo degli agenti inquinanti : Radon.....	47
Approfondimento della problematica.....	47

Inquadramento della problematica.....	47
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica.....	48
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	49
Scheda 4.12 Ventilazione: ricambi d'aria .....	51
Inquadramento della problematica.....	51
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica .....	51
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	51
Scheda 4.13 Campi elettromagnetici interni a bassa frequenza (50 Herz) .....	58
Inquadramento della problematica.....	58
Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica .....	58
Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto.....	60
Approfondimento della problematica.....	63

## CAP 4 IL BENESSERE PSICOFISICO NELL'AMBIENTE INTERNO

*Area di Valutazione 4) -*

### **4.1 L'Illuminazione naturale, Il colore ed il benessere psico-fisico**

*"In una visione poetica, i colori sono la passione della luce e la luce è l'anima della materia".*

*Goethe*

Da quando l' uomo è apparso sulla terra la luce è stata considerata un elemento vitale, indispensabile per la maggioranza delle attività, senza luce infatti gli occhi non possono percepire forme, colori, spazio, movimento; ma la luce non è solo causa fisica che ci permette di interagire visivamente con tutto ciò che ci circonda, è un' esperienza continua della nostra anima.

Molteplici, infatti sono le sensazioni che quotidianamente proviamo al variare della luce e dei colori: dall' aurora purpurea che appare nel cielo ad Oriente prima del sorgere del sole, al tramonto quando la luce ammantata di rosso tutto l'ambiente, alla luce argentea della luna, ad un raggio di sole che filtra tra gli alberi.

Sin dall'antichità si è cercato di sfruttare la luce naturale all'interno di spazi chiusi creando aperture nelle spesse pareti, filtri, colonnati, porte, atri e porticati, coniugando necessità vitali a caratteristiche architettoniche.

Questa parte dell'energia, che arriva dal sole sulla terra, ed è disponibile sotto forma di energia luminosa sia **diretta** che **riflessa** dalla volta celeste , costituisce la cosiddetta *luce naturale*.

L' importanza quindi della *luce naturale* è sempre stata compresa, ma solo recentemente abbiamo potuto aggiungere nuove conoscenze considerando *la luce* nei suoi effetti di flusso fotonico sui cicli ecologici viventi e quindi nella sua influenza fisiologica e psicologica.

Recenti studi di neurofisiologia hanno evidenziato infatti come circa l'80% di tutte le nostre informazioni sensoriali dell'ambiente, in cui siamo immersi, sono di natura visiva e quasi un terzo del nostro cervello è interessato a selezionare queste informazioni. Inoltre, in riferimento a ricerche ed esperimenti, sempre più si concorda sull'influenza della luce e colori sulla psiche umana; non solo la Psicologia, ma la Medicina, l'Architettura e l'Urbanistica utilizzano le proprietà della luce e del colore come parte integrante delle loro discipline. E' stato, inoltre, dimostrato che l'illuminazione con la *luce naturale* è in grado di assicurare livelli di **benessere** superiori a quelli ottenibili negli edifici illuminati artificialmente.

Per questi motivi l'uso di *luce naturale* per l'illuminazione degli interni di un edificio "*daylighting*" è sempre più oggetto di studio e viene considerata di primaria importanza ai fini di una corretta progettazione volta al benessere dell' individuo e attenta al risparmio energetico .

Lo studio dell'illuminazione naturale degli ambienti interni si avvale della conoscenza del percorso del sole e della sua altezza sull'orizzonte durante il giorno e nei vari periodi dell'anno, quali elementi prioritari per la valutazione della variazione del flusso luminoso all'interno di un ambiente; altri elementi presi in considerazione sono i dati riguardanti le condizioni climatiche del luogo, la presenza o meno di ostruzioni naturali e artificiali nelle immediate vicinanze dell'edificio stesso e l'indice di riflessione delle superfici interne ed esterne.

La luce solare diretta e quella riflessa, in quanto diffusa dalla volta celeste, hanno caratteristiche diverse e pertanto richiedono una diversa considerazione nel corso di una corretta progettazione dell'illuminazione naturale degli ambienti.

Nuove tecnologie e la possibilità di avere a disposizione nuovi materiali come i "vetri intelligenti" e i materiali isolanti trasparenti, che hanno la caratteristica di regolare il flusso luminoso e termico, indirizzano sempre più a valutare l'illuminazione naturale in un percorso progettuale, permettendo la realizzazione di grandi superfici vetrate senza incidere sull'efficienza energetica dell'edificio nel suo complesso.

La luminosità di un ambiente dipende anche dai suoi colori, dalle sue superfici, dalla materia con cui le stesse sono realizzate; infatti la luce riflessa dalle superfici e quella emessa dalle sorgenti luminose interagiscono nel produrre lo spettro che alla fine viene percepito dall'occhio. Luce, colori e superfici influenzano quindi in modo determinante l'illuminazione di uno spazio, creando un *buon clima ambientale*.

Se analizziamo un colore, esso produce determinati effetti psicologici legati a particolari associazioni culturali, ma anche degli effetti fisiologici dovuti alle sue caratteristiche fisiche, in quanto frequenza di un'onda elettromagnetica.

Un esempio, in questo caso, può essere dato dallo studio del colore in luoghi di lavoro, valutando poi le reazioni psico-fisiche a seconda dei vari colori usati: il rosso e tutti i colori a bassa frequenza stimolano il sistema neurovegetativo, il blu e i colori ad alte frequenze hanno una azione più calmante, mentre il verde, colore di media frequenza, non produce alcuno effetto sul sistema neurovegetativo, per cui viene considerato un colore di riequilibrio neurofisiologico.

Gli effetti prodotti, inoltre, dal colore *luce* e dal colore *materico* come pigmento risultano assai diversi e influenzano l'animo determinando condizioni psicologiche opposte.

Sicuramente potremmo sperimentare queste diverse sensazioni all'interno di una stanza pervasa da una luce colorata o che filtra attraverso vetri colorati oppure una stanza con pareti e soffitto dipinti con lo stesso colore.

In Francia, il Ministero per l'Educazione ha già da tempo attuato una ricerca volta ad individuare gli standard cromatici più adatti per ottimizzare l'apprendimento e lo sviluppo armonico dei bambini all'interno delle strutture scolastiche materne ed elementari.

Non è casuale perciò che, alla luce di questa nuova consapevolezza che, anche in Italia si sia preso in considerazione il problema *colore* all'interno degli spazi confinati.

Per queste ragioni Imprese commerciali, Aziende di produzione, Istituti scolastici, Strutture Sanitarie ed Amministrazioni Locali sono sempre più coinvolti e interessati a un utilizzo

consapevole e progettato del colore; lo dimostrano alcune realtà di ambienti ospedalieri, che, da sempre tinteggiati di bianco e arredati con fredde apparecchiature mediche, un tempo volti a rappresentare nella loro freddezza "l'asetticità", sono oggi sovente dipinti di azzurro per esercitare un effetto calmante sui degenti che si trovano in condizioni di stress emotivo e quindi a rispondere ad esigenze più umane del paziente, in particolare eliminando gli stati di angoscia determinati dal bianco, il "non colore".

Rudolf Steiner (1861–1925 Dornach) è stato uno tra i primi architetti a parlare di "*architettura delle scuole*", credendo che proprio nella pedagogia e nella didattica antroposofiche il luogo e l'ambiente, nella loro totalità, abbiano un ruolo fondamentale: la fase educativa dei bambini, sia nella prima infanzia che nell'adolescenza, è fortemente condizionata dalla forma degli oggetti, dai luoghi, dallo spazio e dai colori con i quali si trovano a interagire quotidianamente. In una stanza di un asilo steineriano sicuramente il colore deve creare una atmosfera magica, indurre al sogno, all'interno di uno spazio amevole, confortevole, infondendo sicurezza come l'ambiente familiare: il colore rosa a velature è sicuramente più adatto perché è dolce, tenero, stimola l'attività emotiva, imitativa e induce alla scoperta dell'ambiente circostante. Bambini più grandi, invece, necessitano di un ambiente che li aiuti ad interiorizzare le esperienze vissute nella prima infanzia e a utilizzare al meglio quell'energia che nel periodo della prima infanzia era volta all'esterno: l'educazione deve in maniera prioritaria privilegiare l'assimilazione delle informazioni e la comprensione delle stesse, per cui il colore più indicato risulterà tra le velature dell'azzurro tenue. Uno degli esempi più significativi che ci riporta alla filosofia antroposofica steineriana, allo studio del rapporto forma funzione, materia e colore, è la scuola di Eric Asmussen a Goteborg (Svezia), dove le forme, il materiale (pietra e legno) e il gioco di colori impongono all'occhio di confrontarsi con le superfici e di dialogare con esse attraverso l'effetto vibrante che la stesura a più strati dei vari toni di colori determina.

Il ricercatore americano Kurt Goldstein ha, inoltre, scientificamente dimostrato quanto il *colore influenzi la percezione del tempo e dello spazio oltre che a modificare le sensazioni corporee: con la luce rossa il tempo risulta più dilatato e gli oggetti sembrano più grandi e più pesanti. Con la luce blu gli oggetti sembrano più piccoli e leggeri.*

Il punto è che i progettisti non hanno ancora sufficientemente consapevolezza dell'importanza del colore e delle sue implicazioni fisiologiche e psicologiche; spesso ne ignorano l'esistenza e riducono il loro intervento nella attività quotidiana ad una semplice "scelta del colore", come se fosse semplicemente un fatto estetico.

## **4.2 la qualità dell'aria interna (iaq)**

Si definisce inquinamento indoor "*la presenza nell'aria di ambienti confinati di contaminanti fisici, chimici e biologici non presenti naturalmente nell'aria esterna di sistemi ecologici di elevata qualità*" (Ministero dell'Ambiente Italiano, 1991).

Con tale espressione si fa riferimento agli ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali, ed in particolare, a tutti i luoghi confinati adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto. Secondo questo criterio, il termine "indoor" comprende: le abitazioni, gli uffici pubblici e privati, le

strutture comunitarie (ospedali, scuole, uffici, caserme, alberghi, banche, etc.), i locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, etc.) ed infine i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, etc.).

Considerando che la maggior parte del tempo, (circa il 90 %) lo trascorriamo in ambienti chiusi, e che l'aria di ambienti confinati è condizionata dalla qualità di quella esterna più la presenza di ulteriori agenti inquinanti presenti solo all'interno, possiamo comprendere come risulta di notevole importanza il controllo della sua qualità o " *indoor air quality*".

Complessivamente si può affermare che esiste una cattiva qualità dell'aria dei poveri e una dei ricchi. Quella dei poveri, sempre esistita, si riferisce alla ristrettezza degli spazi, al sovraffollamento, alla presenza di fonti di combustione aperte (stufe, bracieri, camini), ai materiali degradati, alla presenza di umidità. Quella dei ricchi, di nascita più recente, si riferisce a un inquinamento prevalentemente di tipo chimico e ai fenomeni di assorbimento (nuovi materiali e contemporanea presenza di materiali tessili, come moquette e rivestimenti murari) e ai sistemi di gestione dell'aria (condizionamento).

Un'altra classificazione si può avere considerando edifici vecchi ed edifici nuovi: nei primi i fattori di rischio riguardano il degrado dei materiali (polveri e fibre) e la presenza di umidità; nei nuovi o appena rinnovati i problemi nascono dall'uso di prodotti di finitura che non hanno ancora completato l'emissione di sostanze chimiche inquinanti (vernici, pitture, adesivi, mobili nuovi) e, molto frequentemente, da una eccessiva sigillatura e un isolamento termico insufficiente.

#### **4.2.1 Fonti d'inquinamento degli ambienti interni**

La qualità dell'aria negli ambienti interni dipende da molteplici fattori:

- sorgenti inquinanti esterne: provenienti dall'atmosfera, dalle acque o dal suolo;
- attività umane: generano inquinamento dovuto ai normali processi metabolici, agli animali domestici, al fumo di tabacco, alla cottura dei cibi, all'uso di detersivi e detergenti vari;
- inquinamento prodotto dall'ambiente fisico interno: emissione da parte dei materiali da costruzione e degli arredi, presenza di campi elettromagnetici artificiali;
- inquinamento derivante da sistemi impiantistici di condizionamento dell'aria, di combustione e dalle diverse apparecchiature, sia domestiche che per l'ufficio.

Luogo	Fonti	Inquinanti
Abitazioni, locali ricreativi	Fumo di tabacco	Particolato respirabile; ossido di carbonio; composti organici volatili.
	Forni a gas	Biossido di azoto; ossido di carbonio.
	Forni a legna e caminetti	Particolato respirabile; ossido di carbonio; idrocarburi policiclici aromatici.
	Materiali da costruzione	Radon; formaldeide
	Arredamenti e prodotti di consumo	Formaldeide; composti organici volatili.
	Caldaie a gas	Biossido di azoto; ossido di carbonio.
	Polvere	Agenti biologici;
	Materiale isolante	Asbesto, fibre di vetro.
Uffici	Superfici umide	Agenti biologici; particolato respirabile.
	Fumo di tabacco	Particolato respirabile; ossido di carbonio; composti organici volatili.
	Materiali da costruzione	Formaldeide; composti organici volatili.
	Arredi	Formaldeide; composti organici volatili.
	Fotocopiatrici	Composti organici volatili.
Mezzi di trasporto	Impianti di condizionamento	Agenti biologici, particolato respirabile, biossido di azoto, ossido di carbonio.
	Fumo di tabacco	Particolato respirabile; ossido di carbonio; composti organici volatili.
	Inquinanti ambientali	Ozono negli aeromobili; ossido di carbonio e piombo negli autoveicoli
	Condizionatori da automobile	Agenti biologici; particolato respirabile.

Fonte: Lozar, 1997; modificata.

L'importanza della singola fonte dipende dalla pericolosità e dalla quantità di inquinante che essa emette, ovvero dalla messa in atto di buone pratiche per minimizzare l'emissione.

Alcune fonti, quali i materiali da costruzione, l'arredamento, alcuni prodotti della casa come ad esempio i deodoranti dell'aria, possono rilasciare sostanze inquinanti in modo più o meno continuo. Altre fonti invece sono legate alle attività svolte nei diversi ambienti, rilasciando a loro volta sostanze inquinanti che rimangono nell'aria per lunghi periodi; tra queste, per esempio, troviamo i piani di cottura non ventilati o non correttamente funzionanti, le stufe, l'uso dei solventi nelle attività di hobby e di pulizia, l'uso di vernici per attività di decoro, l'utilizzo degli antiparassitari, etc.

## 4.2.2 Agenti inquinanti

Gli agenti inquinanti vengono classificati in tre grandi categorie: chimici, fisici e biologici.

### AGENTI CHIMICI

composti organici volatili, formaldeide, toluene, benzene, monossido di carbonio, biossido di carbonio, biossido di azoto, anidridi varie, etc.

### AGENTI FISICI

gas radon, campi elettromagnetici naturali e artificiali.

AGENTI BIOLOGICI muffe, batteri, funghi, pollini, etc.

La loro eventuale presenza all'interno degli edifici porta ad una contaminazione dei diversi ambienti (casa, ufficio, scuola) con conseguenti danni transitori o permanenti sulla salute degli individui, che vanno dalle sensazioni di malessere generico, all'acuirsi dei fenomeni allergici, fino a diverse forme di patologie tumorali.

Esistono fondati sospetti che siano maggiori i rischi sanitari associabili all'inquinamento interno, rispetto all'inquinamento esterno: si pensa che il 40% delle assenze da lavoro per malattia sia dovuto a problemi di qualità dell'aria interna degli uffici (Bocchio & Masoero, 1992).

### 4.2.3 Principali tipologie di inquinanti

#### *Inquinanti provenienti dall'ambiente esterno*

Gli agenti inquinanti provenienti dall'ambiente esterno, immessi nell'atmosfera principalmente dagli autoveicoli e dagli impianti industriali, sono stati così raggruppati:

ossidi di carbonio (CO<sub>x</sub>); ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>); ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>); composti organici volatili (COV); particolato solido totale (PST); micro inquinanti (es.: metalli pesanti), presenti in atmosfera con concentrazioni piccolissime ma con considerevoli effetti sanitari.

Nello studio della qualità dell'aria degli ambienti interni devono essere considerati anche gli agenti esterni, in quanto in qualsiasi ambiente abitato dall'uomo si verifica sempre uno scambio di aria con l'ambiente esterno, per cause naturali non controllate (infiltrazioni ed exfiltrazioni attraverso le aperture dell'involucro edilizio), o per effetto di sistemi di ventilazione. Una ricerca effettuata dall'IEMB (*Indoor Environment Management Branch*) dell'EPA (1998) ha dimostrato come "il rapporto indoor/outdoor (I/O) tra le concentrazioni e tra le esposizioni relativamente a diversi inquinanti dell'aria supera notevolmente quella outdoor; le concentrazioni indoor riscontrate sono generalmente da 1 a 5 volte maggiori e l'esposizione indoor è da 10 a 50 volte superiore all'esposizione outdoor".

Per gli edifici dotati di ventilazione meccanica risulta importante la localizzazione delle prese d'aria esterna, per evitare interazioni con emissioni inquinanti localizzate, come gli scarichi di autoveicoli se l'edificio è ubicato in una zona di traffico intenso (Bocchio & Masoero, 1992).

#### *Inquinanti provenienti da materiali*

Tra la fine degli anni '80 ed i primi anni '90, si accertò che anche i materiali edilizi, gli arredi ed i rivestimenti rappresentano una fonte addizionale d'inquinamento.

Questa sorgente di inquinamento può essere anche considerevole ed è ancora poco conosciuta, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. I polimeri sintetici utilizzati per gli arredi ed i diversi tipi di rivestimenti, possono degradare nel tempo, emettendo piccole quantità dei loro costituenti o di composti da essi derivati che possono avere effetti rilevanti sulla salute delle persone o sul livello di comfort.

Nel 1988, in un convegno dell'ASHRAE, venne presentato un elenco delle fonti inquinanti degli ambienti interni (White *et al.*, 1988):



- **Formaldeide:** nei laminati plastici e nei truciolati vengono utilizzati collanti e resine che possono emettere, soprattutto nel primo periodo di vita, notevoli quantità di formaldeide. La formaldeide può anche essere originata, insieme ad altri composti gassosi, dagli isolanti a base di schiuma di urea - formaldeide.
- **Contaminanti organici:** le moquette (costituite generalmente da fibre artificiali) ed i tessuti, possono essere fonte di contaminanti organici e di batteri.
- **Amianto ed altre fibre naturali:** materiali come l'amianto e la lana di vetro possono disperdere nell'ambiente fibre cancerogene per l'apparato respiratorio. Il pericolo è tanto maggiore nelle fasi di manipolazione di tali materiali.
- **Radon:** calcestruzzi e graniti possono emettere Radon-222, un isotopo radioattivo prodotto dal decadimento naturale dell'uranio con tempo di dimezzamento molto rapido: 3,8 giorni.

I prodotti edilizi possono peggiorare le condizioni abitative secondo tre modalità:

1. rilasciando direttamente sostanze inquinanti o pericolose (composti organici volatili, radon, polveri, fibre);
2. assorbendo e successivamente rilasciando sostanze presenti nell'aria e provenienti da altre fonti (per esempio da attività interne o da fonti esterne);
3. favorendo l'accumulo di sporco e la crescita di microrganismi.

La *Silck Building Syndrome* (Sindrome da edificio malato), come è stata riconosciuta dall'O.M.S, è una caratteristica di molte nuove costruzioni o immobili di recente ristrutturazione, in cui l'uso inconsapevole di numerose sostanze di sintesi immesse sul mercato edilizio, la sigillatura in nome di un *contenimento di consumi energetici*, la scarsa ventilazione, la scarsa traspirabilità degli stessi materiali messi in opera, hanno trasformato la casa in *una camera stagna* con elevati tassi di inquinanti nell'aria.

#### *Emissione degli apparecchi a combustione*

Gli apparecchi a combustione che utilizzano gas di rete od in bombola, gasolio o kerosene, legna o carbone sono responsabili di emissioni di CO<sub>2</sub> e di CO, per combustione incompleta, SO<sub>2</sub>, composti organici volatili, vari prodotti di combustione e vapore acqueo (de' Stefani, 1985; Haraprasad *et al.*, 1986; Anemiya *et al.*, 1990).

Il CO è l'inquinante interno più pericoloso per le intossicazioni acute ed il suo tasso di produzione aumenta rapidamente di alcuni ordini di grandezza se il contenuto di ossigeno atmosferico scende di poco al di sotto del 21%.

Dalla combustione si forma anche NO, inquinante prodotto nella fiamma, per ossidazione di azoto atmosferico a temperatura maggiore di 1000°C o per attacco da parte di radicali a temperatura minore, o per ossidazione di azoto presente nel combustibile. L'NO non ha grande rilevanza sanitaria, ma può dar luogo alla formazione di NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ed alcuni derivati degli idrocarburi (Haraprasad *et al.*, 1986; Anemiya *et al.*, 1990).

Tali inquinanti vengono controllati tramite l'eliminazione degli apparecchi con scarico diretto in ambiente, corretto dimensionamento e realizzazione dei condotti di scarico dei fumi, previsione di adeguate aperture di alimentazione dell'aria di combustione, impiego di caldaie a tiraggio bilanciato, installazione di dispositivi di sicurezza in grado di interrompere la combustione in risposta ad anomalie di funzionamento (Bocchio & Masoero, 1992).

#### *Gli effetti sulla salute*

Negli ambienti confinati non industriali i fattori inquinanti, nel loro complesso, sono presenti per lo più in concentrazioni tali da non determinare effetti acuti (che si manifestano come conseguenze dei livelli eccezionalmente elevati) ma che sono ugualmente causa di effetti negativi sulla salute dell'uomo.

A volte può essere difficoltoso individuare il rapporto causa-effetto, poiché spesso i sintomi non sono specifici e gli inquinanti responsabili di uno stesso effetto possono essere più di uno.

Capita inoltre che numerosi effetti si manifestino a causa della presenza contemporanea di più fattori, quali stress, pressioni lavorative, disagi di origine stagionale, senza contare che la risposta degli individui all'esposizione di uno stesso inquinante può comunque variare a seconda delle diverse condizioni individuali o del diverso grado di suscettibilità personale. Le conseguenze dell'esposizione agli inquinanti indoor possono essere distinte in effetti immediati o a lungo termine.

Gli **effetti immediati** si possono rivelare dopo una singola esposizione o dopo esposizioni ripetute. Questi includono l'irritazione degli occhi, del naso e della gola, nausea, emicranie, capogiri e l'affaticamento. Tali effetti immediati sono solitamente di breve durata e comunque curabili. A volte il trattamento consiste semplicemente nell'allontanamento dalla fonte d'inquinamento, se può essere identificata. Gli inquinanti dell'aria agiscono prevalentemente sull'apparato respiratorio, in quanto costituisce la via principale di contatto e di assorbimento.

Alcuni inquinanti chimici possono agire come irritanti primari delle vie aeree; altri, dotati di elevato potere ossidante (ozono o ossidi di azoto), possono determinare un abbassamento della soglia di reattività bronchiale aspecifica, attraverso l'induzione di un processo infiammatorio. Sia le sostanze chimiche che quelle biologiche sono in grado di interagire con il sistema immunitario potenziandone o sopprimendone la risposta. Nel primo caso si possono riscontrare patologie allergiche, quali asma, rinite e alveolite allergica estrinseca causate soprattutto dai fattori biologici ad alto peso molecolare, ma anche da agenti chimici, che si comportano come antigeni. Nel secondo caso (immuno-depressione) la conseguenza può essere un'aumento della suscettibilità ad agenti infettivi o una ridotta sorveglianza antitumorale; va tuttavia sottolineato che, alla luce delle conoscenze attuali, benché molte sostanze possano essere chiamate in causa al riguardo, i dosaggi necessari sono superiori a quelli riscontrabili nelle abituali condizioni di vita.

Gli effetti a lungo termine, invece, possono rilevarsi o dopo un lungo e ripetitivo periodo di esposizione, o dopo alcuni anni rispetto a quando l'esposizione è avvenuta. Questi effetti, che includono alcune patologie respiratorie, malattie cardiache e cancro, possono essere severamente debilitanti o mortali. È dunque importante provare a migliorare la qualità dell'aria all'interno degli edifici, anche se i sintomi non sono notevoli.

Mentre le sostanze inquinanti trovate comunemente nell'aria degli ambienti interni sono responsabili di molti effetti nocivi, vi è una considerevole incertezza circa le concentrazioni o i periodi di esposizione necessari a produrre i problemi di salute specifici. Gli individui inoltre reagiscono diversamente all'esposizione delle sostanze inquinanti. Non vi è dubbio che la qualità dell'aria confinata deve essere considerata un vero problema di sanità pubblica, in quanto determina un impatto sulla popolazione in termini non solo di effetti sanitari e costi diretti per l'assistenza medica, ma di ordine economico generale.

**Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>):** *Le emissioni di NO<sub>x</sub> sono dovute principalmente ai trasporti, all'uso di combustibili e ad alcune attività industriali. Il biossido di azoto in particolare è responsabile in atmosfera di generare ozono.*

Effetti sulla salute: possono provocare irritazioni ai polmoni, causando problemi respiratori gravi.

**Monossido di Carbonio (CO):** *È un gas incolore e inodore. La sua presenza è dovuta principalmente a fonti naturali; la combustione dei carburanti in particolare.*

Effetti sulla salute: è assorbito rapidamente dagli alveoli polmonari, può provocare mal di testa, nausea o disturbi alla concentrazione. In ambienti chiusi può essere mortale.

**Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>):** *Deriva dal riscaldamento domestico e dai motori alimentati a gasolio; gli interventi sulla qualità dei combustibili hanno recentemente ridotto sensibilmente l'emissione di questa sostanza nelle aree urbane:*

Effetti sulla salute: irritazione alle prime vie respiratorie, alterazioni del gusto e dell'olfatto, senso di stanchezza.

**Benzene, toluene, xilene, idrocarburi policiclici aromatici:** *Fanno parte dei composti organici volatili (VOC) insieme ad altri idrocarburi che evaporano velocemente. Benzene e toluene sono entrambi presenti nella benzina, lo xilene è un gas prodotto naturalmente anche dalle piante.*

*Tutte queste sostanze sono presenti in tutti i tradizionali prodotti di finitura in edilizia: pitture, vernici, smalti, colle, ecc.*

Effetti sulla salute: sono tutti potenzialmente cancerogeni ed interagiscono con i meccanismi metabolici di crescita, favoriscono inoltre i disturbi alle vie respiratorie.

**Polveri totali sospese (PTS):** *Il particolato (così è definito l'insieme di polveri, fumo e vapor d'acqua presenti nell'aria) è sia di origine naturale sia il prodotto delle attività umane (combustioni principalmente).*

Effetti sulla salute: attaccano soprattutto le vie respiratorie superiori, possono essere il veicolo di trasporto di altre sostanze cancerogene nell'organismo umano.

**Polveri fini (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>):** *Le polveri fini sono una frazione delle polveri totali, a causa della loro ridotta dimensione sotto il profilo sanitario sono ancora più pericolose perché sono respirabili (sono cioè metabolizzate).*

Effetti sulla salute: attaccano principalmente gli occhi e le vie respiratorie. Le polveri fini, attaccandosi agli alveoli polmonari trasportano sostanze altamente inquinanti e spesso cancerogene.

**Ozono (O<sub>3</sub>):** E' un gas che si trova sia nella zona alta dell'atmosfera, dove funziona da filtro per i raggi UV, sia nella zona bassa dell'atmosfera, dove se respirato in alte concentrazioni, diventa un inquinante pericoloso. Si sviluppa per effetto delle radiazioni solari in presenza di altri inquinanti (gas provenienti da combustioni, solventi, NOx, ecc.). Può venir prodotto da alcune apparecchiature (vedi fotocopiatrici).

Effetti sulla salute: l'ozono altera le funzioni respiratorie, provoca mal di testa, irritazione agli occhi, alla gola ed al naso.

**Microrganismi, Muffe e Batteri:** Le principali fonti di inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono determinate dagli occupanti (uomo ed animali), dalle polveri, dai materiali (naturali o sintetici) e dai servizi degli edifici.

La qualità dell'aria, la sua percentuale di umidità, e le caratteristiche stesse di un materiale, consentono lo svilupparsi di microrganismi, anche se le maggiori fonti di inquinamento batteriologico derivano da condizionatori dell'aria, umidificatori e comunque impianti in cui può risultare presente umidità elevata che facilita l'insorgere di microrganismi, diffusi poi negli ambienti dall'impianto di distribuzione dell'aria.

### **Controllare la Qualità dell'aria interna**

Per affrontare il problema è fondamentale innanzitutto la globalità dell'approccio. Un edificio è un sistema e come tale studiato e trattato nella totalità delle sue interazioni: non si dovrebbe agire su una sua parte senza considerare le ricadute sulle altre e non si dovrebbe agire sulla qualità dell'aria senza considerare le implicazioni nella gestione – anche energetica - dell'edificio. Ed è necessario verificare che non si risolvono i problemi causati da una sostanza o una fonte inquinante adottando tecniche che possono avere ricadute negative sugli altri elementi costruttivi degli edifici o che a loro volta contaminino l'aria. A tal fine è necessario che per ogni intervento il progettista gestisca tutti gli aspetti del problema e che sia in grado di scegliere tra le tecniche possibili, quelle più adatte al sistema edificio/utente.

Secondo l'agenzia americana EPA, attualmente, esistono tre fondamentali strategie utilizzate per controllare la qualità dell'aria interna:

1. **Controllo delle fonti (Source control):** si basa sulla riduzione o eliminazione delle fonti inquinanti dall'ambiente interno;
2. **Controllo della qualità dell'aria (Ventilation):** utilizza la ventilazione (naturale o forzata) per ridurre, diluendole, le concentrazioni degli inquinanti quando questi sono presenti nell'aria;
3. **Pulizia dell'aria (Air cleaning):** integrabile con gli altri due, si serve di speciali dispositivi adatti per la pulizia dell'aria.

Controllare i prodotti e gli impianti, e diluire gli inquinanti attraverso una maggior aerazione dei locali sembra attualmente la strada più praticabile, ma non sempre è sufficiente: in ambienti particolari, in cui è richiesta una ottimale I.A.Q., (case di cura, ospedali, case protette, asili, scuole ...) che si trovano in luoghi in cui i livelli di inquinamento outdoor sono elevati e i ricambi d'aria non permettono una diminuzione degli agenti inquinanti indoor, a volte occorre far ricorso ad apparati "anti-inquinamento" che utilizzino tecniche di trattamento dell'aria e tecnologie innovative.

In sintesi, nonostante la molteplicità dei fattori coinvolti e dei problemi aperti, il controllo della qualità dell'aria può avvenire solo attraverso:

- La riduzione dei contaminanti interni;
- La definizione di adeguati standard di ventilazione;
- Il controllo dei fattori microclimatici.

<b>OBIETTIVI DI PROGETTO</b>	<b>ELEMENTI COINVOLTI</b>
Fare in modo che l'aria esterna immessa sia la migliore possibile	Localizzazione, posizione delle prese d'aria e delle finestre
Minimizzare il carico inquinante dovuto a materiali e prodotti	Scelta dei materiali e della loro compatibilità
Minimizzare il carico inquinante dovuto ad attivi	Separazione funzionale delle attività inquinanti tramite confinamento o incapsulamento
Diluire gli inquinanti presenti	Progetto della ventilazione, doppio affaccio, canne di ventilazione
Allontanare gli inquinanti alla fonte	Estrazione localizzata
Controllare i fattori di rischio: umidità, temperatura, rumore	Progetto dell'edificio, tecniche di protezione

#### *Criteria per migliorare la qualità dell'aria in edifici esistenti*

La prevenzione del rischio di inquinamento interno costituisce una precisa responsabilità del progettista il quale, al di là dei comportamenti più o meno a rischio adottati dagli occupanti, deve perseguire come uno degli obiettivi di progetto il raggiungimento di una buona qualità dell'aria.

Progettare tenendo presente la qualità non è però sufficiente, ma è necessario riferirsi a discorsi più ampi: non è possibile infatti perseguire l'obiettivo della qualità dell'aria interna senza considerare i rapporti materici ed energetici che si instaurano tra la costruzione e l'ambiente, circostante e globale. E' necessario quindi integrare nello studio dei materiali da costruzione i requisiti ambientali e trasformare tali requisiti in testi normativi.

La salubrità dell'aria interna di una costruzione dipende infatti da una serie di scelte, quali l'orientamento, la localizzazione, le tecniche costruttive, la tipologia edilizia, l'organizzazione funzionale degli spazi in relazione alle attività.

<b>INQUINANTI</b>	<b>FONTI O CAUSE</b>	<b>RIMEDI</b>
Radon, pesticidi	Attacco a terra, suolo	Sigillazione entrate dal terreno, ventilazione dei seminterrati
Composti Organici Volatili (VOC)	Materiali di finitura, arredo	Sostituzione dei materiali, incapsulamento
Batteri, virus, funghi	Umidità nella costruzione	Protezione dall'umidità, isolamento termico, ventilazione
Polveri, fibre	Presenza materiali fibrosi degradati	Sostituzione, manutenzione

#### *Materiali bio-compatibili ed eco-sostenibili certificati*

Fino alla fine del XIX secolo i materiali da costruzione erano tutti naturali: pietra, laterizio, legno, argilla cruda o cotta e calce.

Architetture ed abitazioni erano costruiti con materiali reperiti in loco le cui caratteristiche o tecniche applicative erano note perché tramandate nel corso della storia.

Con la *rivoluzione industriale* e soprattutto con l'avvento dell'industria petrolchimica, nelle abitazioni sono entrati materiali totalmente estranei alle componenti naturali dell'uomo, trasformando la casa da "*ambiente vivo*" in "*ambiente morto*".

Criteri guida nella individuazione dei materiali da costruzione sono quelli relativi alla certezza della loro non nocività dal punto di vista delle emissioni nell'ambiente e quindi del loro livello di *bio-compatibilità*. La stessa attenzione dovrebbe essere estesa alla valutazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti esaminati, a partire dalla materia prima, alla loro fabbricazione, per finire al loro smaltimento, riutilizzo o riciclo, cioè alla loro *eco-sostenibilità*.

L'importanza di una trasformazione ecologica della produzione edilizia è stata presa in considerazione da tempo anche dall'Unione Europea, prima con la direttiva 89/106 sulla qualità dei materiali da costruzione e poi con l'emissione del regolamento 880/92 ora sostituito dal Regolamento del Parlamento e del Consiglio (CE) n.1980/2000 e dal Regolamento del Consiglio (CEE) n.1836/93 per l'ecogestione e l'audit (EMAS), ora sostituito dal Regolamento EMAS n.761/2001 che rappresenta una evoluzione della precedente versione

#### *Specifici limiti e valori di riferimento*

Dettare norme sulla qualità dell'aria sarebbe auspicabile, ma diviene terreno poco praticabile, in quanto la qualità dell'aria dipende da una serie interrelata di fattori: dal sito, ai metodi progettuali, ai materiali e tecnologie applicative, oltre ai comportamenti degli abitanti. Su alcune di queste materie è fondamentale l'azione svolta, nel corso degli anni, dai regolamenti di Igiene Edilizia.

Comunque è necessario definire e fissare alcuni valori per poter avere dei riferimenti ai fini di un controllo degli ambienti, mentre risulta più complesso stabilire la soglia limite oltre la quale si vengono creare problemi per la salute degli individui, sia per carenza di informazioni sulla relazione dose-risposta, sia per la varietà dei soggetti coinvolti.

La "Commissione indoor", istituita presso l'ex Dipartimento della Prevenzione del Ministero della Salute, ha emanato il 27/09/2001 e pubblicato sulla gazzetta n.276 le "*Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*", in accordo con il Ministro della Salute, Le Regioni e le Province Autonome e per quanto riguarda i materiali del Regolamento CE 880/1992 ora sostituito dal Regolamento del Parlamento e del Consiglio 1980/2000.

Il documento fornisce informazioni fondamentali per la valutazione e gestione, in termini di Sanità Pubblica, dei rischi per la salute connessi all'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati e indicazioni tecniche per orientare le azioni di prevenzione e controllo di tali rischi evidenziando la necessità di intervenire sul risanamento dell'aria degli ambienti "a rischio" agendo simultaneamente sui quattro aspetti fisici degli inquinanti: Gassoso, Particellare,

### **4.3 inquinamento elettromagnetico indoor**

Se da un lato gli enormi benefici dell'uso dell'elettricità nella vita quotidiana e nella cura della salute sono indiscutibili, dall'altra sono progressivamente aumentate, negli ultimi 25 anni, le preoccupazioni del pubblico per i potenziali effetti negativi che l'esposizione a campi elettrici e magnetici a frequenza estremamente bassa (ELF) potrebbero produrre.

In casa, le fonti d'emissione dei campi elettromagnetici (CEM) sono svariate e tendono a moltiplicarsi con lo sviluppo delle nuove tecnologie.

La maggior parte delle sorgenti artificiali di radiazioni a bassa frequenza (ELF) nel nostro ambiente quotidiano sono riconducibili all'impiego dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz. I telefoni cellulari ed i forni a microonde funzionano invece in una gamma di frequenza superiore (RF/MO).

A questa frequenza di rete (50 Hz) le variazioni nel tempo di campo elettrico e campo magnetico sono così basse che i due campi si possono considerare come entità separate, sovrapposte ma indipendenti. Il campo più importante a queste frequenze è il campo magnetico in quanto induce nel corpo umano correnti più intense che non il campo elettrico.

Le sorgenti a 50 Hz si possono distinguere in due gruppi principali:

Sorgenti "in casa" (sorgenti indoor): elettrodomestici, videotermini e utensili da lavoro.

Sorgenti "fuori casa" (sorgenti outdoor): elettrodotti a bassa, media e alta tensione utilizzati per la distribuzione dell'energia.

I livelli di fondo del campo elettromagnetico nell'ambiente domestico derivano soprattutto dagli impianti per la trasmissione e la distribuzione dell'elettricità e dagli apparecchi elettrici. Tutti gli apparecchi elettrici emettono dei CEM: televisione, forno elettrico, forno a microonde, lavatrice, coperta elettrica, sistema d'allarme, telefono cellulare, computer, videoregistratore, ecc.

Quando gli apparecchi elettrici sono messi in funzione emettono campi elettrici piuttosto bassi, compresi tra pochi V/m ed alcune decine di V/m e solo in rari casi, come avviene per esempio per le coperte elettriche, si possono raggiungere valori oltre i 100 V/m. La corrente che inizia a circolare produce un campo magnetico molto intenso in prossimità della sorgente, che si esaurisce quasi totalmente alla distanza di pochi centimetri. Il campo magnetico prodotto dagli elettrodomestici varia secondo la potenza del loro motore, la richiesta di energia o le condizioni di funzionamento.

Gli apparecchi elettrici differiscono molto uno dall'altro quanto ad intensità dei campi generati. Confrontando i valori del campo magnetico generato dai vari dispositivi elettrici, ci si potrebbe sorprendere del fatto che l'intensità dei campi magnetici non dipende dalle dimensioni, complessità, rumorosità dell'apparecchio che li genera. In effetti, i campi magnetici in prossimità di dispositivi di grosse dimensioni sono spesso meno intensi di quelli che si misurano vicino a dispositivi di dimensioni minori. Le ragioni per cui ciò accade sono molteplici,

e sono correlate alla funzione ed alla forma dell'apparecchio, ma soprattutto al consumo di corrente (potenza).

Se volessimo fare una classifica degli apparecchi di comune impiego sulla base del livello di campo magnetico emesso potremmo mettere sicuramente ai primi posti il rasoio elettrico, il phon, il tritatutto e l'aspirapolvere, e agli ultimi posti il frigorifero, il tostapane, il ferro da stiro. In base a quanto detto, quindi, durante la permanenza in casa, potremmo essere esposti ai campi elettrici e soprattutto ai campi magnetici in alcuni casi anche di elevata intensità.

In ogni caso, è necessario fare la differenza tra i CEM ai quali possono essere esposti dei professionisti (linee ad alta tensione, alcune industrie, installazioni delle telecomunicazioni, ecc.) e quelli d'intensità minore, che riguardano le esposizioni casalinghe. L'utilizzatore di un telefono cellulare è esposto a livelli di campo molto più alti di quelli normalmente presenti nell'ambiente domestico.

Poiché non è ancora stato raggiunto un consenso scientifico degli effetti sulla salute dei campi ELF, è difficile stabilire delle regole certe cui attenersi.

Per ridurre al minimo l'esposizione occorre mettere in atto accorgimenti utili: oltre a ridurre l'utilizzo dei vari apparecchi e ad adottare comportamenti prudenziali (stare ad almeno un metro di distanza da ogni apparecchio elettrico), si può intervenire anche sulla loro disposizione, soprattutto su quegli apparecchi fissi. Per esempio non ha senso mettere un frigorifero attaccato al muro alla cui parete opposta si trova il letto, oppure un divano confinante con una lavatrice, e così via.

Un'altra possibile soluzione al problema delle emissioni di campi ELF, potrebbe essere costituito da una maggiore attenzione nella progettazione da parte dei costruttori.

In passato, infatti, si è dimostrata praticabile questa via: l'introduzione di dispositivi elettrici a bassa emissione non si è rilevata un'utopia nel caso di alcuni elettrodomestici come le coperte elettriche ed i videotermini.

In particolare occorre attenzione nella progettazione impiantistica delle zone letto delle abitazioni, questo perché durante il sonno la nostra attività cerebrale è notevolmente rallentata e la posizione sdraiata non ci permette il contatto con il terreno e quindi di scaricare l'energia che accumuliamo nel corpo. Tutto ciò ci pone in una condizione di particolare vulnerabilità tale da interferire con la funzione di ricarica che il sonno dovrebbe avere.

Volendo schematizzare si può affermare che i campi elettromagnetici ELF, se la loro pericolosità verrà confermata, potrebbero provocare sull'uomo i seguenti effetti:

1. *Effetti acuti a breve termine*, in particolare riduzione delle difese immunitarie, alterazioni di svariati parametri funzionali (ritmo cardiaco, pressione arteriosa, parametri ematologici), effetti neurologici e comportamentali (sindromi depressive, tendenza al suicidio). Per questo tipo di effetti, vista la relazione causale quantitativa con la dose assunta (rapporto dose/effetto), è possibile stabilire una soglia di esposizione, al di sotto della quale si può presumere che l'effetto di alterazione sia nullo;



2. *Effetti cronici, a lungo termine, di tipo degenerativo, in particolare malattie neurologiche invalidanti a decorso progressivo (morbo di Parkinson, malattia di Alzheimer, sclerosi laterale amiotrofica, un tipo di paralisi muscolare progressiva);*
3. *Effetti cronici, a lungo termine, di tipo genetico (in particolare danni al DNA, alterazione cromosomiche, semisterilità, sterilità, aborti spontanei, malformazioni embrionali) e di tipo cancerogenetico (in particolare leucemie, linfomi e tumori cerebrali, soprattutto nei bambini).*

Gli effetti genetici e cancerogenetici sono effetti stocastici, cioè vengono indotti secondo una relazione puramente probabilistica con la dose, il che non permette di definire, nemmeno in via approssimativa, una soglia di esposizione, al di sotto della quale l'effetto sia rigorosamente nullo: qualsiasi dose, per quanto minima, ha una probabilità finita, seppure minima, di produrre un effetto.

Per gli effetti genetici e cancerogenetici il problema è dunque quello di definire delle dosi, e quindi dei livelli di esposizione, alle quali la probabilità di insorgenza di effetti sia sufficientemente bassa, per esempio pari a quella che si verifica per altre situazioni di rischio considerate accettabili dalla comunità.

Le schede con le quali è possibile evidenziare le attenzioni ed i relativi input di progetto tesi a tener conto dei fattori ambientali presenti ed a prevenire aggressioni all'ambiente esterno generato dalla costruzione sono:

- ✓ Scheda 4.1 Illuminazione naturale
- ✓ Scheda 4.2 Isolamento acustico di facciata
- ✓ Scheda 4.3 Isolamento acustico delle partizioni interne
- ✓ Scheda 4.4 Isolamento acustico da calpestio e da agenti atmosferici
- ✓ Scheda 4.5 Isolamento acustico dei sistemi tecnici
- ✓ Scheda 4.6 Inerzia termica
- ✓ Scheda 4.7 Temperatura dell'aria e delle pareti interne
- ✓ Scheda 4.8 Controllo dell'umidità su pareti
- ✓ Scheda 4.9 Controllo inquinanti: fibre minerali
- ✓ Scheda 4.10 Controllo inquinanti: VOC
- ✓ Scheda 4.11 Controllo inquinanti: Radon
- ✓ Scheda 4.12 Ricambi d'aria
- ✓ Scheda 4.13 Campi a bassa frequenza

## Scheda 4.1 Illuminazione naturale

SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT VISIVO

### Inquadramento della problematica

L'illuminazione naturale deve essere progettata in modo da garantire:

- una sufficiente quantità di luce naturale entrante;
- una distribuzione uniforme della luce;
- la vista verso l'esterno;
- la penetrazione della radiazione luminosa all'interno dell'ambiente, soprattutto nel periodo invernale;
- la privacy;
- l'oscurabilità;

solo in questo modo è possibile garantire un comfort visivo e una riduzione dei consumi da energia elettrica. Un ambiente dotato di una buona illuminazione naturale deve avere una buona distribuzione della luce negli ambienti tra la zona più vicina alla superficie vetrata e la zona più lontana.

Il fattore di uniformità, dato dal rapporto tra il fattore di luce diurna minimo e il fattore di luce diurna massimo, deve essere almeno pari a 0.2 (*Applicabile in ambienti con illuminazione unilaterale*).

Allo stesso modo bisogna garantire che questi ambienti possano essere completamente oscurati all'occorrenza e vi sia la possibilità di regolare tramite schermi l'illuminamento interno medio dovuto alla luce naturale.

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

È universalmente accettato che il Fattore di Luce Diurna –FLD– è dato dal rapporto dell'illuminazione interna con quella che si manifesta nello stesso istante all'esterno, il rapporto al variare della illuminazione esterna resta costante; questo è dato da:

$$E_{int} * \frac{100}{E_e} = FLD$$

Il FLD di cui si propone un **metodo di calcolo** è determinato dalla somma di tre aliquote espresse in percentuali:

1. componente del cielo, quantità di luce che arriva in un punto direttamente dalla volta celeste;
2. componente di riflessione esterna, quantità di luce che arriva in un punto dopo riflessioni su superfici esterne;
3. componente di riflessione interna, quantità di luce che arriva in un punto dopo riflessioni su superfici interne al locale.

I vari metodi per il calcolo della luce diurna si distinguono in due tipi:

- metodi grafici;
- metodi tabellari;

per i metodi alternativi a quello indicato nella scheda si rimanda a testi specifici (elencati in bibliografia), considerando che il metodo proposto fornisce un valore medio del coefficiente di luce diurna, pertanto dà solo un valore indicativo, mentre ci sono degli altri metodi un po' più complessi ma più puntuali dove è possibile effettuare una disaggregazione spaziale dei risultati (metodo BRS o con il diagramma di Waldram).

Per ottenere dei buoni risultati è importante considerare alcuni aspetti:

- Le finestre dei vani giorno devono essere collocate in modo da ricevere radiazione solare diretta anche nel periodo invernale;
- È preferibile privilegiare l'orientamento verso Sud;
- Evitare gli oscuramenti dovuti ad edifici o altre ostruzioni esterne sulle superfici vetrate;
- Dimensionare opportunamente l'ambiente rispetto alle superfici trasparenti, e viceversa;
- Forma e posizione delle superfici trasparenti tali da garantire una corretta distribuzione della luce;
- Disporre l'edificio in modo da ridurre al minimo la visione dall'esterno degli spazi abitativi interni;

- Adeguata collocazione dell'edificio nel sito e disposizione delle finestre.

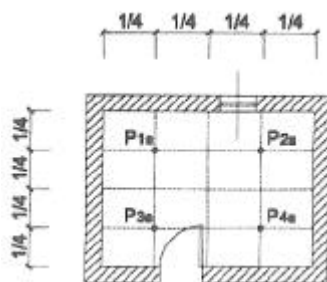
L'orientamento a sud delle superfici vetrate permette di ottenere una buona radiazione invernale, ovvero quando le giornate sono più brevi, il sole è più basso e tramonta presto, pertanto le aperture beneficiano più a lungo della radiazione solare nell'arco della giornata.

Inoltre queste vetrate sono facilmente schermabili durante il periodo estivo ed evitano problemi di surriscaldamento.

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto

Per verificare la conformità dell'intervento realizzato ove sia stato utilizzato un metodo di verifica diverso da quello indicato nella scheda in oggetto, il progettista dovrà effettuare la verifica mediante prova in opera, come segue:

- si scelgono gli ambienti "più sfavoriti" ovvero quelli con minore vista al cielo;
- la misura dell'illuminamento interna ed esterna va eseguita su un piano orizzontale;
- si utilizzano due luxometri, dove quello esterno viene generalmente posto sulla copertura dell'edificio, che però non deve essere esposta ai raggi solari diretti, ovvero il cielo deve essere in condizioni di uniformemente coperto;
- i due luxometri utilizzati devono essere congruenti, oppure si può usarne uno purché il passaggio della misurazione avvenuta all'esterno sia rapidamente succeduto da quella all'interno, infatti le condizioni di cielo possono subire variazioni;
- l'illuminamento medio interno si calcola come media degli illuminamenti in precisi punti:

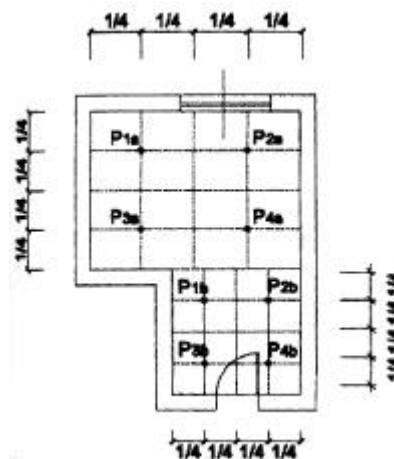


### Nel caso di spazio di forma regolare:

Almeno quattro punti situati all'incrocio degli assi posti a  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$  dello spazio da misurare.

### Nel caso di spazio di forma irregolare:

Suddividendo lo spazio in subspazi di forma regolare quindi si opera come sopra.



Per ogni subspazio va calcolata la media aritmetica dei valori di illuminamento rilevati nei quattro punti di misura. Il valore del FLD dello spazio in esame sarà la media pesata dei valori medi dei singoli subspazi.

Nel caso di spazi destinati a destinazioni plurime la verifica può essere effettuata e soddisfatta almeno nei punti fissi di lavoro.

In tutti i casi la verifica del FLD è data dal rapporto costante tra illuminazione interna e illuminazione esterna.

- Per **dimensionare** opportunamente l'ambiente nel caso di illuminazione unilaterale affinché la zona più lontana risulti più luminosa è necessario rispettare alcune condizioni:
  - la profondità dell'ambiente non deve essere molto maggiore della sua larghezza;
  - la profondità dell'ambiente deve essere al massimo due volte maggiore dell'altezza dal pavimento al filo superiore della finestra;
  - le superfici della zona più lontana devono essere chiare.
  
- Per assicurare una corretta distribuzione della luce la **forma e la posizione delle finestre** devono essere tali che il filo superiore della finestra sia il più alto possibile. Le finestre verticali rappresentano la soluzione migliore per garantire nello stesso tempo la quantità di luce naturale necessaria, la visione verso l'esterno e la penetrazione in profondità della luce.
  
- Per garantire un efficace privacy si possono adottare elementi di separazione visiva tra l'edificio e l'ambiente circostante, non completamente opachi; ad esempio l'adozione di **schermature**, preferibilmente mobili (tende, tapparelle, ante...) o microforate (es. veneziane a lamelle microforate, tende a trama larga, bande microforate). (vedi scheda 2.2 *sistemi solari passivi*), è un buon compromesso tra qualità della luce, controllo dall'introspezione esterna, aspetto architettonico.
  
- L'oscurabilità degli ambienti destinati al riposo può essere d'altra parte garantita anche dall'uso di **schermi oscuranti** mobili per il controllo degli apporti solari senza compromettere l'ingresso della luce naturale, è il caso di alcune persiane avvolgibili, o di veneziane, purché queste siano in grado di garantire all'occorrenza il totale oscuramento.
  
- Per assicurare una opportuna **collocazione dell'edificio** nel sito, questo deve essere posto in modo tale che le finestre siano a una distanza adeguata dagli edifici circostanti, in modo da evitare la vista orizzontale o dall'alto degli ambienti interni. Così si riducono anche i problemi legati all'ostruzione della luce. Un modo efficace per amplificare l'effetto luminoso degli ambienti interni è quello di adottare sia all'interno che all'esterno sugli edifici adiacenti colori chiari che riflettono maggiormente la luce, componente importante per il FLD totale dell'ambiente considerato.

## Scheda 4.2 Isolamento acustico di facciata

### SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT ACUSTICO

### Inquadramento della problematica

La Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 557 del 1995 all'art. 3 comma 1 lettera e) demanda al DPCM 5/12/97 la "determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici". Vengono infatti individuati dei parametri finalizzati a garantire un minimo di comfort acustico all'interno degli edifici civili. Questo decreto ha voluto fissare dei parametri **rilevabili in opera** a cui gli edifici di nuova realizzazione (o ristrutturazione) dovranno attenersi; per semplificare la sua applicazione questi valori dovranno essere paragonati ad Indici a singolo numero.

Il decreto ha innanzitutto suddiviso gli edifici secondo la classificazione:

Categoria	Descrizione
A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Al fine di caratterizzare il comportamento di una facciata, viene normalmente valutato l'Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata, che tiene conto di ogni componente che la costituisce:

- struttura;
- componenti finestrati;
- piccoli elementi, cioè componenti con superficie inferiore a 1 m<sup>2</sup> (griglie, cassonetti, ecc.)

Questo viene calcolato con la seguente relazione:

$$R'_{f,w} = -10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_{w,i}}{10}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_0}{S} 10^{\frac{-D_{ne,w,i}}{10}} \right) - k$$

$S_i$	Area di ogni elemento costituente la facciata	[m <sup>2</sup> ]
$D_{ne,w}$	Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato dei piccoli elementi	[dB]
K	Coefficiente correttivo che tiene conto delle trasmissioni per fiancheggiamento	[dB]
	- 0 per elementi di facciata non connessi	
	- 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi	

Viene inoltre calcolato l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione  $D_{2m,nT,W}$ :

Rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'isolamento acustico di facciata espresso in funzione del tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente. Il livello della sorgente, che può essere il traffico stradale od un altoparlante con incidenza di 45°, è misurato a 2 m dal fronte della facciata

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione;

- del livello di pressione sonora a 2 m dalla facciata;
- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dal tempo di riverbero dell'ambiente disturbato rapportato ad un valore di riferimento pari a 0,5 s. Il DPCM 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" fissa l'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata  $D_{2m,nT,W}$

Categoria	$D_{2m,nT,W}$
D	45
A,C	40
E	48
B, F, G	42

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto

La determinazione dell'indice dell'isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nT,W}$  dovrà essere valutata tenendo conto sia del suo potere fonoisolante apparente, sia della sua conformazione.

L'influenza della forma della facciata (presenza di balconi, aggetti, porticati, ecc.) viene quantificata attraverso un termine correttivo che può assumere sia valori positivi che negativi e che sarà sommato al potere fonoisolante apparente della parete.

L'influenza che i piccoli elementi possono avere sulle prestazioni di una facciata è consistente; basti pensare, per esempio, che una apertura di ventilazione di 100cm<sup>2</sup> per la ventilazione di una cucina ai sensi della L.46/90 sulla sicurezza degli impianti, può ridurre il potere fonoisolante di una facciata da 35 a 20dB.

Al fine di ridurre le perdite di efficienza a causa di una griglia di aerazione, normalmente si consiglia di adottare bocchette insonorizzate che essenzialmente sono sagomate in modo da potere alloggiare al suo interno del materiale fonoassorbente poroso in grado di ridurre parte dell'energia sonora percorrente il suo interno.

Per quanto riguarda gli infissi, occorrerà prestare particolare attenzione nella sua scelta, sia come tipologia di materiali (vetro e telaio) sia come tipologia costruttiva (classe di tenuta all'aria dell'infisso). Nella tabella seguente sono riportati gli indici  $R_w$  caratteristici per alcune vetrate:

<b>tipologia</b>	<b>Spessore (mm)</b>	<b>R<sub>w</sub> (dB)</b>
Vetro singolo	3	28
	4	29
	5	30
	6	31
	8	32
	10	33
	12	34
Vetro stratificato con laminato plastico da 0,5 a 1 mm.	6	32
	8	33
	10	34
Vetrocamera con intercapedine da 6 mm. A 16 mm. Riempita d'aria	4 – (6-16) - 4	29
	6 – (6-16) – 4	32
	6 – (6-16) – 6	31
	8 – (6-16) – 4	33
	8 – (6-16) – 6	35
	10 – (6-16) – 4	35
	10 – (6-16) – 6	35
Vetrocamera stratificato con laminato plastico, di nuova concezione	21	40
	31	48
	40	51

Per quanto riguarda invece il telaio dell'infisso, saranno da preferire infissi con Classe di permeabilità all'aria > A2, con particolare attenzione alla presenza delle guarnizioni di tenuta (interna, centrale ed esterna).

Per quanto riguarda le porte, occorrerà prestare attenzione anche alla soglia che dovrà essere munita di guarnizione di tenuta.

In conclusione, quando viene progettata una struttura di facciata, occorrerà:

- analizzare il clima acustico persistente all'esterno;
- tenere conto, nella scelta dei materiali della struttura, anche delle prestazioni acustiche richieste (è inutile progettare strutture con altissimo potere fonoisolante per sopperire a carenze dovute alla presenza di superfici deboli);
- dimensionare e scegliere gli infissi in funzione sia della destinazione d'uso del locale, sia del clima acustico persistente all'esterno;
- dimensionare e scegliere griglie di ventilazione e cassonetti con buone prestazioni acustiche.

E' opportuno puntualizzare che se effettuiamo una valutazione prendendo come dati di base dei valori provenienti da certificati di laboratorio, occorrerà prestare attenzione al fatto che il certificato è ottenuto da una misura in laboratorio in cui la struttura viene posata con ogni accorgimento finalizzato ad ottenere le massime prestazioni, accorgimenti che normalmente non vengono presi in cantiere e che inoltre riguarda esclusivamente la trasmissione di rumore per via diretta e non tiene conto delle trasmissioni per fiancheggiamento, (cosa impossibile da effettuare in quanto dipende dalla tipologia di giunzione presente in opera). Questo comporta che il valore del potere fonoisolante di una struttura proveniente da un laboratorio può essere utilizzato esclusivamente per effettuare, tramite idoneo metodo di calcolo, una stima dell'isolamento in opera della struttura previa valutazione delle trasmissioni di rumore per fiancheggiamento.

## Scheda 4.3 Isolamento acustico delle partizioni interne

### SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT ACUSTICO

### Inquadramento della problematica

La Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 557 del 1995 all'art. 3 comma 1 lettera e) demanda al DPCM 5/12/97 la "determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici". Vengono infatti individuati dei parametri finalizzati a garantire un minimo di comfort acustico all'interno degli edifici civili. Questo decreto ha voluto fissare dei parametri **rilevabili in opera** a cui gli edifici di nuova realizzazione (o ristrutturazione) dovranno attenersi; per semplificare la sua applicazione questi valori dovranno essere paragonati ad Indici a singolo numero.

Il decreto ha innanzitutto suddiviso gli edifici secondo la classificazione:

Categoria	Descrizione
A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Dati due ambienti, il primo (disturbante) caratterizzato dal livello di pressione sonora  $L_{p1}$  ed il secondo (disturbato) caratterizzato da un livello di pressione sonora  $L_{p2}$ , viene definito isolamento acustico (D) la differenza tra i due livelli:

$$D = L_{p1} - L_{p2} \text{ ed espresso in decibel [dB].}$$

Il passaggio del suono da un ambiente all'altro avviene secondo due diverse modalità:

- **trasmissione diretta**, cioè la quantità di energia sonora che la struttura trasmette direttamente all'ambiente disturbato;
- **trasmissione per fiancheggiamento**, cioè la quantità di energia sonora che viene trasmessa all'ambiente disturbato indirettamente attraverso le strutture adiacenti.

Al fine di caratterizzare l'isolamento acustico tra due ambienti, vengono valutati diversi indici:

Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$ :

Rappresenta il valore in decibel a singolo numero del potere fonoisolante apparente di una struttura, cioè tiene conto sia della trasmissione diretta che per fiancheggiamento del rumore. Analiticamente questo è valutabile con la relazione:

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3}$$

$W_1$	Potenza incidente sulla struttura	[W]
$W_2$	Potenza trasmessa dalla struttura per via diretta	[W]
$W_3$	Potenza trasmessa dalla struttura per fiancheggiamento	[W]

rappresentazione analitica, che può essere utilizzata per effettuare una previsione di massima di  $R'_w$ , è la seguente:



$$R'_{f,w} = -10 \log \left( 10^{\frac{-R_{f,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{f,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{f,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{f,w}}{10}} \right)$$

$R'_{f,w}$       Indice del potere fonoisolante di tutti i singoli percorsi      [dB]

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione:

- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbante;
- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dalla superficie della struttura e dall'area di assorbimento equivalente dell'ambiente disturbato.

**Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente  $D_{n,w}$ :**

Rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'isolamento acustico espresso in funzione dell'assorbimento dell'ambiente ricevente.

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione:

- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbante;
- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dall'area di assorbimento equivalente dell'ambiente disturbato rapportato ad un valore di riferimento pari a 10 m<sup>2</sup>.

**Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione  $D_{n,T,w}$ :**

Rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'isolamento acustico espresso in funzione del tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente.

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione:

- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbante;
- del livello di pressione sonora all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dal tempo di riverbero dell'ambiente disturbato rapportato ad un valore di riferimento pari a 0,5 s.

le norme EN 12354, DIN 4109 ed il progetto UNI U20000780 riportano vari metodi più o meno semplificati di previsione;

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto

Il DPCM 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" fissa l'indice del potere fonoisolante apparente di partizioni  $R'_{w}$  (sia verticali che orizzontali) fra ambienti; questo deve essere valutato per gli elementi di separazione di due distinte unità abitative (camere nel caso di ospedali o alberghi, e aule nel caso di scuole);

Categoria	$R'_{w}$
D	55
A, C	50
E	50
B, F, G	50

Occorre puntualizzare che i limiti sopra esposti rappresentano dei vincoli da rispettare durante misurazioni in opera, quindi ad edificio già realizzato. Questo significa che nella valutazione di un indice si terrà conto sia della trasmissione diretta del rumore che di quella per fiancheggiamento.

Normalmente, per realizzare un idoneo isolamento acustico tra due ambienti, si sfrutta la proprietà di fonoisolamento di una struttura, cioè la sua attitudine a ridurre la trasmissione del suono incidente su di essa; questa viene espressa dalla relazione:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

parametro  $\tau$  rappresenta il coefficiente di trasmissione acustica di una struttura ed è dato dal rapporto tra potenza sonora trasmessa e potenza sonora incidente.

La quantità di energia sonora trasmessa dalla struttura è teoricamente espressa dalla "Legge della massa" che permette di calcolare il potere fonoisolante in funzione della sua massa per unità di superficie; una delle relazioni maggiormente utilizzate è la seguente:

$$R = 18 \log(mf) - 44$$

m	Massa superficiale	[kg/m <sup>2</sup> ]
f	Frequenza del suono	[Hz]

In prima analisi l'incremento del potere fonoisolante di una struttura può essere ottenuto aumentando la sua massa superficiale, e cioè applicando a questa del materiale più o meno denso. Nella pratica questo è fattibile essenzialmente per le pareti leggere (occorre considerare la massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]). Per pareti pesanti per avere un aumento significativo del potere fonoisolante occorre raggiungere valori di massa superficiale problematici.

La validità della Legge della massa non si estende a tutto il campo dell'udibile, ma viene limitata inferiormente dalla frequenza di risonanza, e superiormente dall'effetto di coincidenza.

La frequenza di risonanza dipende dalla rigidità della struttura e quindi dalla resistenza che questa oppone al movimento in prossimità della sua frequenza naturale. Quando una struttura viene sollecitata con questa frequenza, la quantità di energia necessaria a mantenerla in vibrazione diminuisce, poiché la struttura tende a vibrare naturalmente, quindi con più facilità. Questo porta a condizioni di smorzamento prossime allo 0 e quindi diminuirà anche il potere fonoisolante della struttura; in questo caso si dice che la struttura è trasparente al rumore.

Quando una struttura viene colpita da un'onda sonora incidente, una sua componente percorre trasversalmente la struttura stessa (onda flessionale). Se la velocità delle onde flessionali eguaglia la velocità delle onde sonore nell'aria, la componente incidente normalmente trasmessa e quella flessionale si sommano, provocando così una perdita di isolamento acustico; questo fenomeno viene chiamato effetto di coincidenza, mentre la frequenza intorno alla quale si manifesta viene chiamata frequenza critica. La perdita di isolamento per coincidenza non avverrà solamente alla frequenza critica, ma in un insieme di bande la cui ampiezza dipende dalle caratteristiche dei materiali.

Spesso succede che la struttura abbia una massa sufficiente a garantire l'isolamento teorico richiesto, ma in realtà questo risulta inferiore a causa della sua eccessiva rigidità, che diminuisce la distanza tra frequenza di risonanza e frequenza critica, concentrando questo effetto nel campo udibile. Quindi occorrerà realizzare interventi mirati a riportare la struttura alle prestazioni ideali. La prima cosa da considerare è quella di aumentare il n° di bande di frequenza in cui la struttura si comporta in modo ideale, e quindi:

- la frequenza di risonanza dovrà essere la minore possibile (possibilmente inferiore a 20 Hz);
- la frequenza critica dovrà essere la maggiore possibile (possibilmente superiore a 16000 Hz).

Questo intervento dovrà essere effettuato valutando attentamente i materiali costituenti la struttura.

Su questo concetto si basa il grande successo che ha il piombo negli interventi di insonorizzazione; infatti, questo materiale ha caratteristiche di densità ed elasticità tali da permettere la propagazione di onde flessionali ad alta velocità, in modo da condurre fuori dal campo dell'udibile la sua frequenza critica.

Altro intervento possibile è quello di aumentare la proprietà di smorzamento della struttura, che significa cioè aumentare la quota di energia che questa riesce a dissipare. Per fare questo occorrerà applicare su una delle superfici un pannello composto da uno strato elastico con bassa rigidità dinamica e da uno strato massivo. In questo modo il sistema assumerà lo schema tipico di "massa-molla-massa" in grado di aumentare lo smorzamento complessivo alle frequenze dove la struttura non rispetta la legge di massa.

Il potere fonoisolante di pareti singole è limitato dalla legge della massa nonché dagli effetti di risonanza e coincidenza. Al fine di superare questi limiti è possibile utilizzare pareti costituite da due o più componenti separati da un'intercapedine d'aria, eventualmente contenente un materiale fonoassorbente poroso. Inoltre occorrerà prestare attenzione ai materiali e agli spessori dei singoli componenti, cercando sempre di diversificarli. Questo per fare in modo che la frequenza critica della struttura complessiva non corrisponda a quella dei singoli componenti, causando così una perdita consistente del potere fonoisolante complessivo.

Per una struttura doppia costituita da due elementi occorrerà:

- che l'intercapedine tra i due elementi sia di spessore maggiore possibile; questo dipenderà ovviamente anche dalle caratteristiche geometriche degli ambienti; generalmente si tende ad eseguire intercapedini molto piccole per non "rubare" spazio ai locali che la struttura delimita. Si tenga comunque presente che la dimensione dell'intercapedine determina il potere fonoisolante complessivo alle varie frequenze; intercapedini di piccole dimensioni permettono una buona

efficienza alle alte frequenze, mentre aumentandone lo spessore aumentano le frequenze dove la struttura tende a seguire il comportamento ideale;

- che i singoli elementi abbiano il minor numero possibile di basi d'appoggio, sostegno o punti in comune; poiché non è possibile avere due componenti senza punti di appoggio o sostegni in comune, occorrerà comunque ridurre lo scambio di vibrazioni attraverso questi punti. Per questo normalmente viene inserito un materiale con bassa rigidità dinamica ed alta resistenza a compressione tra il componente ed il punto di appoggio, in grado di smorzare il rumore vibrazionale. Ovviamente dovrà essere evitato qualsiasi punto di contatto anche tra le superficie parallele dei due componenti.
- che all'interno dell'intercapedine sia posizionato un materiale con bassa resistenza al flusso d'aria (materiale fonoassorbente poroso o fibroso); al fine di evitare una riduzione di prestazioni a causa di una eccessiva riverberazione, all'interno dell'intercapedine dovrà essere applicato un materiale fonoassorbente poroso, in grado di dissipare parte dell'energia sonora; il materiale fonoassorbente deve avere un elevato valore di resistenza al flusso d'aria.
- che i componenti presentino caratteristiche vibrazionali, e quindi frequenze naturali, diverse; al fine di evitare che la frequenza critica della struttura complessiva sia uguale a quella dei singoli componenti, occorrerà che questi abbiano una rigidità diversificata, e cioè abbiano diverso spessore o siano realizzati con materiali differenti.

Utilizzando lo stesso principio delle doppie pareti, può essere incrementato il potere fonoisolante di un solaio di interpiano o di copertura di un ambiente, mediante la realizzazione di un controsoffitto. L'applicazione di un controsoffitto sospeso in un intervento di correzione acustica di un ambiente comporta un duplice vantaggio: aumenta l'assorbimento acustico equivalente dell'ambiente ed aumenta il potere fonoisolante del solaio a cui è applicato. Per qualsiasi tipologia costruttiva (materiale poroso, pannello vibrante, risonatore) il controsoffitto, per garantire la maggior efficienza possibile, dovrà essere sospeso rispetto al solaio; a tale fine viene normalmente impiegata una struttura metallica ad orditura a maglia, ancorata mediante sistema di pendinaggio. Se il controsoffitto è finalizzato principalmente all'aumento del potere fonoisolante del solaio, occorrerà far sì che il pendinaggio non si trasformi in una serie di ponti acustici fra i due componenti della struttura doppia.

## Scheda 4.4 Isolamento acustico da calpestio e da agenti atmosferici

### SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT ACUSTICO

### Inquadramento della problematica

La Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 557 del 1995 all'art. 3 comma 1 lettera e) demanda al DPCM 5/12/97 la "determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici". Vengono infatti individuati dei parametri finalizzati a garantire un minimo di comfort acustico all'interno degli edifici civili. Questo decreto ha voluto fissare dei parametri **rilevabili in opera** a cui gli edifici di nuova realizzazione (o ristrutturazione) dovranno attenersi; per semplificare la sua applicazione questi valori dovranno essere paragonati ad Indici a singolo numero.

Il decreto ha innanzitutto suddiviso gli edifici secondo la classificazione:

Categoria	Descrizione
A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Un materiale sollecitato da un corpo che urta la sua superficie, trasmette e irradia suoni nell'ambiente circostante; classico esempio in edilizia è il rumore da calpestio, dove un solaio viene sollecitato da una serie di urti e di conseguenza si trasforma in una sorgente di rumore verso l'ambiente sottostante.

Dal punto di vista dell'isolamento acustico è importante che le strutture trasmettano il rumore prodotto dagli urti nella minore quantità possibile; a differenza dell'isolamento da rumori aerei, quello da rumori impattivi non viene espresso in funzione della sua proprietà di opporsi o meno al passaggio del suono, ma in funzione della sua capacità di ridurre l'emissione.

Normalmente questa proprietà sarà caratterizzata da indici, espressi sotto forma di Livelli massimi ammissibili, quali;

#### - L'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L_n,W$ :

Rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'emissione sonora teorica di un solaio sollecitato meccanicamente da un generatore di calpestio; questo indice considera solamente la trasmissione diretta.

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione;

- del livello medio di pressione sonora misurato all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dal tempo di riverberazione dell'ambiente disturbato sommato ad un valore di riferimento pari a 0,5 s.

#### - L'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L'_{n,W}$ :

rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'emissione sonora teorica di un solaio sollecitato meccanicamente da un generatore di calpestio; questo indice considera oltre alla trasmissione diretta anche quella laterale.

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione;

- del livello medio di pressione sonora misurato all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dall'area di assorbimento equivalente dell'ambiente disturbato rapportato ad un valore di riferimento pari a  $10 \text{ m}^2$ .

**- L'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione L'n,T,w:**

rappresenta il valore in decibel a singolo numero dell'emissione sonora teorica di un solaio sollecitato meccanicamente da un generatore di calpestio; questo indice considera oltre alla trasmissione diretta anche quella laterale.

Nella sua determinazione, questo Indice dovrà essere valutato in funzione;

- del livello medio di pressione sonora misurato all'interno dell'ambiente disturbato;
- di un fattore correttivo dipendente dal tempo di riverberazione dell'ambiente disturbato sommato ad un valore di riferimento pari a 0,5 s.

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto

Il DPCM 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" fissa l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato **L'n,W**, sotto forma di livelli massimi ammissibili:

Categoria	L'_{nw}
D	58
A, C	63
E	58
B, F, G	55

I limiti sopra esposti rappresentano dei vincoli da rispettare durante **misurazioni in opera**, quindi ad edificio già realizzato. Questo significa che nella valutazione di un indice si terrà conto sia della trasmissione diretta del rumore che di quella per fiancheggiamento.

Se effettuiamo una valutazione revisionale prendendo come dati di base dei valori provenienti da certificati di laboratorio, occorrerà prestare attenzione in quanto, con una misura in laboratorio, questo viene normalmente misurato applicando il materiale isolante su un solaio in CLS da  $120 \pm 20$  mm, quindi in una situazione diversa dalle normali tipologie costruttive (solai in laterocemento, bausta, predalles, ecc.); questo implica che il valore del Certificato può essere esclusivamente utilizzato, tramite l'idoneo metodo di calcolo, per eseguire una stima previsionale dell'efficienza dell'isolante all'interno del solaio in opera, previa valutazione anche delle trasmissioni di rumore per fiancheggiamento.

Normalmente un intervento di isolamento acustico da rumori di calpestio è associato alla realizzazione di un pavimento galleggiante; un materiale resiliente viene interposto tra la struttura portante ed il massetto sul quale viene applicata la finitura superficiale. In questa tipologia di intervento il materiale resiliente ha il compito di smorzare la trasmissione di vibrazioni tra i vari componenti del pacchetto.

Una stima di massima delle prestazioni di un sistema "solaio-pavimento galleggiante" può essere così affrontata secondo la seguente relazione:  $L_{n,W} = L_{n,W}(\text{solaio nudo}) - L_W$ .

Per calcolare  $L_{n,W}(\text{solaio nudo})$  ci serviamo della formula riportata nella UNI EN 12354-2:

$L_{n,W}(\text{solaio nudo}) = 164 - 35 \log(m/m'_0)$  dove si intende con  $m$  = massa per unità di area e  $m'_0 = 1/\text{kgm}^2$ .

Per calcolare invece il  $L_W$  e cioè il miglioramento acustico del solaio tramite l'inserimento di un materiale resiliente, sarà necessario utilizzare la seguente relazione:

$$L_W = 30 \log(f/f_0) \text{ dove:}$$

$f$  = frequenza di riferimento a 500 Hz

$f_0$  = frequenza di risonanza

da cui  $f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$  che rappresenta la frequenza di risonanza caratteristica del sistema in funzione della

sua massa superficiale ( $m'$ ) e della rigidità dinamica ( $s'$ ) dello strato resiliente. Per quanto riguarda le trasmissioni laterali, queste possono assumere valori importanti, specialmente se gli elementi connessi al solaio hanno una elevata massa superficiale.

Va ricordato che la rigidità dinamica dipende dallo spessore del materiale; sarà pertanto necessario verificare altresì che la resistenza a compressione ( $\text{N/mm}^2$ ) del materiale resiliente impiegato sotto massetto sia idonea a non alterarne lo spessore nel tempo.

La corretta posa in opera di un pavimento galleggiante prevede alcuni accorgimenti, quali: completa disgiunzione del massetto e della pavimentazione dalle strutture limitrofe, tramite l'impiego di materiale elastico; la disgiunzione può essere realizzata anche mediante lo stesso materiale resiliente, opportunamente risvoltato sulle superfici verticali prima di realizzare la gettata; il materiale resiliente non deve permettere la penetrazione di cemento; se il materiale è costituito da fogli flessibili, quelli adiacenti devono essere sormontati l'uno sull'altro altrimenti le linee di giunzione devono essere nastrate; l'intonaco delle strutture verticali o il battiscopa non devono avere punti di contatto con la finitura applicata sopra il massetto; gli impianti tecnologici non devono diventare dei ponti acustici, bypassando il materiale resiliente e quindi mettendo in diretto contatto la pavimentazione con la struttura principale.

- che i singoli elementi abbiano il minor numero possibile di basi d'appoggio, sostegno o punti in comune; poiché non è possibile avere due componenti senza punti di appoggio o sostegni in comune, occorrerà comunque ridurre lo scambio di vibrazioni attraverso questi punti. Per questo normalmente viene inserito un materiale con bassa rigidità dinamica ed alta resistenza a compressione tra il componente ed il punto di appoggio, in grado di smorzare il rumore vibrazionale. Ovviamente dovrà essere evitato qualsiasi punto di contatto anche tra le superficie parallele dei due componenti.
- che all'interno dell'intercapedine sia posizionato un materiale con bassa resistenza al flusso d'aria (materiale fonoassorbente poroso o fibroso); al fine di evitare una riduzione di prestazioni a causa di una eccessiva riverberazione, all'interno dell'intercapedine dovrà essere applicato un materiale fonoassorbente poroso, in grado di dissipare parte dell'energia sonora; il materiale fonoassorbente deve avere un elevato valore di resistenza al flusso d'aria.
- che i componenti presentino caratteristiche vibrazionali, e quindi frequenze naturali, diverse; al fine di evitare che la frequenza critica della struttura complessiva sia uguale a quella dei singoli componenti, occorrerà che questi abbiano una rigidità diversificata, e cioè abbiano diverso spessore o siano realizzati con materiali differenti.

Utilizzando lo stesso principio delle doppie pareti, può essere incrementato il potere fonoisolante di un solaio di interpiano o di copertura di un ambiente, mediante la realizzazione di un controsoffitto.

L'applicazione di un controsoffitto sospeso in un intervento di correzione acustica di un ambiente comporta un duplice vantaggio: aumenta l'assorbimento acustico equivalente dell'ambiente ed aumenta il potere fonoisolante del solaio a cui è applicato.

Per qualsiasi tipologia costruttiva (materiale poroso, pannello vibrante, risonatore) il controsoffitto, per garantire la maggior efficienza possibile, dovrà essere sospeso rispetto al solaio; a tale fine viene normalmente impiegata una struttura metallica ad orditura a maglia, ancorata mediante sistema di pendinaggio.

Se il controsoffitto è finalizzato principalmente all'aumento del potere fonoisolante del solaio, occorrerà far sì che il pendinaggio non si trasformi in una serie di ponti acustici fra i due componenti della struttura doppia.

## Scheda 4.5 Isolamento acustico da calpestio e da agenti atmosferici

### SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT ACUSTICO

### Inquadramento della problematica

La Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 557 del 1995 all'art. 3 comma 1 lettera e) demanda al DPCM 5/12/97 la "determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici". Vengono infatti individuati dei parametri finalizzati a garantire un minimo di comfort acustico all'interno degli edifici civili. Questo decreto ha voluto fissare dei parametri **rilevabili in opera** a cui gli edifici di nuova realizzazione (o ristrutturazione) dovranno attenersi; per semplificare la sua applicazione questi valori dovranno essere paragonati ad Indici a singolo numero.

Il decreto ha innanzitutto suddiviso gli edifici secondo la classificazione:

Categoria	Descrizione
A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
B	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili
C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Gli impianti tecnologici sono molto spesso causa di rumori e vibrazioni, sia all'interno che all'esterno degli edifici.

Il controllo del rumore generato dagli impianti spesso vuol dire controllare, oltre al loro funzionamento, anche l'interazione che hanno con il resto dell'edificio. Normalmente la valutazione della rumorosità di un impianto viene valutata tramite il suo valore di emissione sonora, trattandolo come una sorgente più o meno complessa.

Le principali sorgenti sonore dei componenti degli impianti che normalmente possono causare rumore all'interno degli ambienti sono:

- Terminali per la diffusione dell'aria (bocchette, anemostati, griglie, ecc.): normalmente il livello di emissione sonora di questi terminali viene determinato in fase di progettazione utilizzando appositi diagrammi forniti dal costruttore; una corretta progettazione in funzione della tipologia d'uso dell'ambiente permette di contenerne l'alterazione del clima acustico;
- Terminali per il trattamento e la distribuzione dell'aria (ventilconvettori, split, unità di trattamento, ecc.).
- Ventilatori e canalizzazioni per la distribuzione dell'aria: Anche se questa parte dell'impiantistica può essere fra le più rumorose, il suo controllo è abbastanza semplice, in quanto sarà sufficiente dimensionare correttamente l'impianto e adottare alcuni accorgimenti quali l'adozione di giunti elastici nei raccordi tra ventilatori e canalizzazioni, silenziatori, curve non strette o quanto meno con alette direttrici, convogliatori di flusso nelle diramazioni, un adeguato isolamento termico che permetta di ridurre le vibrazioni delle lamiere, ecc.

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di Progetto

- Tubazioni per la distribuzione dell'acqua sia ad uso climatizzazione che sanitario: questa parte dell'impianto può risultare a volte la più ostica sotto l'aspetto acustico. Infatti molto spesso la sorgente sonora non è rappresentata dalla tubazione in se stessa, ma questa, mediante vibrazioni, trasforma in sorgenti sonore le strutture dell'edificio. Per questo sarà opportuno valutare attentamente la velocità del fluido trasportato nonché adottare alcuni accorgimenti quali l'inserimento di giunti elastici tra le tubazioni e le apparecchiature in grado di trasmettere vibrazioni. Altro punto debole è rappresentato dagli accessori quali valvole e rubinetteria, per cui in fase progettuale dovranno essere dimensionati prestando attenzione alle caratteristiche di distribuzione del fluido.
- Tubazioni di scarico degli impianti sanitari: anche per questa tipologia impiantistica dovrà essere posta molta attenzione, in quanto tende a trasformare le strutture in sorgenti sonore. Anche in questo caso molta importanza ha il dimensionamento in fase progettuale, facendo attenzione a dimensionare correttamente sia la rete di scarico che quella di ventilazione. Inoltre un fattore molto importante è lo spessore e la tipologia del materiale di copertura (normalmente cemento) delle tubazioni ed in particolar modo le sue caratteristiche di trasmissione delle vibrazioni.
- Apparecchiature per la produzione del calore (caldaie, refrigeratori, CTA, ecc.): queste apparecchiature normalmente sono installate in appositi locali o all'esterno. Dovrà essere comunque prestata attenzione agli effettivi valori di emissione sonora (con particolare riferimento ai Livelli di potenza) e a progettare correttamente il luogo di posizionamento al fine di evitare il rientro di rumore all'interno degli ambienti controllati o l'emissione verso altri ambienti.
- Ascensori. Questi macchinari normalmente trasmettono rumore aereo dal vano macchina o trasformano le strutture in sorgente tramite la trasmissione di vibrazioni attraverso le guide poste nel vano di scorrimento. Per questi occorrerà prestare attenzione innanzitutto alle caratteristiche costruttive dei vani tecnici facendo sì che questi presenti un buon isolamento dei rumori aerei, ed in seguito prendere quegli accorgimenti finalizzati alla riduzione delle trasmissioni di vibrazioni.

Il DPCM 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" fissa gli indici :

- $L_{ASmax}$ : livello massimo di pressione sonora ponderato A, emesso dagli impianti a funzionamento discontinuo quali ascensori, scarichi idraulici, servizi igienici e rubinetteria;
- $L_{Aeq}$ : livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, emesso dagli impianti a funzionamento continuo quali impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

Categoria	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
D	35	25
A, C	35	35
E	35	25
B, F, G	35	35



## **Scheda 4.6 Inerzia termica**

### **SPECIFICHE**

*Categoria di requisito: COMFORT TERMICO*

### **Inquadramento della problematica**

L'inerzia termica è un concetto piuttosto complesso da definire ed ancor più complesso da calcolare. In termini molto semplici l'inerzia termica altro non è che l'effetto combinato dell'accumulo termico e della resistenza termica della struttura.

### **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

L'inerzia termica è legata sia alla capacità di accumulo del calore (e in questo senso alla massa frontale della parete) che alla conduttività termica dei materiali ( $\lambda$  [W/m K]).

Una certa "pesantezza" della parete unita ad una ridotta conduttività termica costituiscono la migliore soluzione; in altre parole non si dovrebbe eccedere né nel peso frontale trascurando la conduttività, né al contrario ridurre eccessivamente la conduttività trascurando la massa.

L'inerzia termica agisce sia con un effetto di smorzamento dell'ampiezza dell'onda termica esterna che con lo sfasamento della stessa, cioè con il ritardo di tempo intercorrente tra l'impatto della sopradetta onda termica sulla superficie esterna del muro ed il suo apparire, con intensità smorzata, sulla faccia interna del muro stesso. I benefici derivanti da questi due fenomeni sono evidenti:

- lo smorzamento suggerisce subito la possibilità di ridurre il dimensionamento dell'impianto termico (ovvero di condizionamento estivo) dell'abitazione;
- lo sfasamento indica la collocazione temporale (cioè in quali condizioni termiche ambientali si farà sentire) dell'apparire all'interno dell'abitazione delle condizioni peggiori del clima naturale esterno (minima temperatura notturna, d'inverno; massima insolazione, d'estate).

Ad esempio, se la massima punta termica esterna estiva si farà sentire all'interno dell'abitazione quando la temperatura ambientale sarà scesa a valori più moderati, essa sarà sopportata molto più agevolmente; lo stesso discorso vale per le punte minime delle notti invernali.

Il concetto dell'influenza della massa ai fini del contenimento dei consumi energetici è già presente nella Legge 10 del 1991, che tuttavia è ancora priva di un importante decreto attuativo (relativo all'art. 4, comma 2 della Legge).

### **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

In generale il riscaldamento dell'aria interna di un locale dipende oltre che dall'intensità del flusso di radiazione solare entrante, anche dalle caratteristiche di inerzia termica delle strutture edilizie. Ciò non è assolutamente trascurabile quando si voglia valutare il carico termico estivo di picco di un edificio. In questo caso si possono utilizzare due metodi:

- metodo delle differenze di temperatura equivalenti e dei fattori di accumulo, detto "metodo CARRIER"
- metodo delle funzioni di trasferimento

Tanto più è elevata l'inerzia termica tanto più piccolo è il riscaldamento della struttura e quindi ridotto e ritardato è il flusso di convezione scambiato con l'aria ambiente. Esaminando l'interazione sole-edificio, si può osservare che quest'ultimo si comporta come un sistema di captazione, effetto che nella stagione invernale risulta un vantaggio, ma in quella estiva è assolutamente uno svantaggio. Nel caso di superfici

opache (muri, tetti) la conseguenza del parziale assorbimento della radiazione solare incidente è un incremento della temperatura superficiale che provoca un flusso di conduzione verso l'interno dell'edificio.

Per tener conto di questi effetti, cioè del guadagno termico dovuto alla radiazione solare delle pareti opache, viene introdotta la temperatura fittizia sole-aria con cui, al posto della temperatura dell'aria esterna, calcolare le dispersioni di calore attraverso le pareti opache. La temperatura fittizia sole-aria è la temperatura che dovrebbe avere l'aria per scambiare con la superficie della parete lo stesso flusso termico per convezione che viene scambiato per convezione ed irraggiamento solare: in sostanza essa rappresenta la sollecitazione termica dovuta al clima. L'effetto di tale sollecitazione sul flusso termico uscente (situazione invernale) o entrante (situazione estiva) nel locale attraverso le pareti opache è funzione di una costante di tempo C/K (capacità termica diviso la trasmittanza). Se la costante di tempo è maggiore di 24 ore l'effetto della variazione esterna è completamente annullato dall'inerzia termica; se invece la costante di tempo è pari a zero, l'effetto della variazione della temperatura esterna si fa sentire senza attenuazione e senza ritardo. Nei casi più frequenti il comportamento della parete sta fra questi due estremi. L'andamento del flusso termico nel tempo è sfasato, cioè in ritardo, di un certo numero di ore rispetto all'andamento della differenza tra la temperatura interna e quella fittizia sole-aria. La riduzione di ampiezza ed il ritardo sono tanto più grandi quanto più è alta la costante di tempo della parete.

Per le superfici trasparenti va osservato che la superficie totale della finestra comprende la parte trasparente e la parte relativa al telaio, pertanto la superficie netta trasparente varia da 70% a 90% della superficie dell'intera apertura. Inoltre va tenuto conto di un fattore di attenuazione o di shading che esprime il rapporto tra il flusso di radiazione solare entrante attraverso il vetro in esame e quello che entrerebbe attraverso un vetro semplice di spessore di 3mm. Tale coefficiente tiene dunque conto dell'eventuale presenza di vetri schermanti (assorbenti o riflettenti) oppure della presenza di schermature o tendaggi interni o esterni. I valori del coefficiente di shading sono riportati per alcune tipologie di vetri in tabella:

#### **Coefficienti di shading SH per alcune tipologie di vetri**

Tipologia di vetro	SH (%)
Vetro doppio (1 intercapedine)	0.80
Vetro triplo (2 intercapedini)	0.68
Vetro semplice assorbente	0.40 – 0.50
Vetro semplice riflettente	0.30 – 0.50
Vetro semplice con tenda interna	0.50 – 0.60
Vetro semplice con tenda esterna	0.20 – 0.30

Nel caso di superfici vetrate e/o trasparenti, tenendo conto che i vetri sono parzialmente trasparenti alla radiazione solare incidente, la radiazione entrante colpisce le superfici interne (pavimenti, arredi, muri) provocando un riscaldamento di tali corpi che a loro volta cedono calore per convezione e irraggiamento all'aria ambiente (la parte restante viene ceduta agli ambienti confinanti) con un ritardo che dipende dalla loro capacità termica. L'effetto risultante è un aumento della temperatura dell'aria interna con tanto maggiore ritardo ed attenuazione quanto più grande è la capacità termica delle pareti interne, divisori, soffitto, pavimento, arredi etc..

## Scheda 4.7 Temperatura dell'aria e delle pareti interne

### SPECIFICHE

Categoria di requisito: COMFORT TERMICO

### Inquadramento della problematica

Si definisce **equilibrio termico** la condizione in cui il corpo riesce, facendo eventualmente ricorso ai suoi meccanismi di autoregolazione, ad eguagliare i termini positivi e negativi relativi alla produzione interna di calore ed agli scambi di calore con l'ambiente.

Si definisce **benessere termoigrometrico** la condizione mentale che esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico. La condizione per cui si abbia la più alta percentuale di persone che esprimono un giudizio di benessere è definita di *benessere ottimale*.

I parametri principali che influenzano il benessere termico sono quindi:

- Temperatura dell'aria (°C)
- Temperatura media radiante (TMR, °C).
- Velocità dell'aria (m/s)
- Umidità relativa (%)

### Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Si definisce **equilibrio termico** la condizione in cui il corpo riesce, facendo eventualmente ricorso ai suoi meccanismi di autoregolazione, ad eguagliare i termini positivi e negativi relativi alla produzione interna di calore ed agli scambi di calore con l'ambiente.

Si definisce **benessere termoigrometrico** la condizione mentale che esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente termico.

La condizione per cui si abbia la più alta percentuale di persone che esprimono un giudizio di benessere è definita di *benessere ottimale*.

I parametri principali che influenzano il benessere termico sono quindi:

**Temperatura dell'aria** (°C) - La temperatura dell'aria, intesa come temperatura di bulbo secco, è il fattore più importante nella determinazione del benessere termico.

**Temperatura media radiante** (TMR, °C) - E' la temperatura media pesata delle temperature delle superfici che delimitano l'ambiente incluso l'effetto dell'irraggiamento solare incidente. Influisce sugli scambi per irraggiamento. Assieme alla temperatura dell'aria, la TMR è il fattore che influenza maggiormente la sensazione di calore perché la radiazione che cade sulla cute ne attiva gli stessi organi sensori. Se il corpo è esposto a superfici fredde, una quantità sensibile di calore è emessa sotto forma di radiazione verso queste superfici, producendo una sensazione di freddo.

La variazione di 1 °C nella temperatura dell'aria può essere compensata da una variazione contraria da 0.5 a 0.8 °C nella TMR: la condizione più confortevole è stata considerata quella corrispondente ad una TMR di 2 °C più alta della temperatura dell'aria. Una TMR più bassa di 2 °C è pure tollerabile se la radiazione emessa dal corpo è quasi la stessa in tutte le direzioni e ciò avviene solo se le temperature superficiali dell'ambiente circostante sono praticamente uniformi.

**Velocità dell'aria** (m/s) - Tutti gli ambienti sono soggetti a movimenti anche impercettibili dell'aria. La velocità minima è di 0,075 m/s ma si inizia a percepire il movimento dell'aria a 0,3 m/s. Alle temperature più alte anche 1 m/s è considerato piacevole, ed una velocità sino a 1.5 m/s è tollerabile. Nella stagione fredda, all'interno di un locale riscaldato la velocità dell'aria non dovrebbe superare i 0.25 m/s. Ovviamente, la ventilazione influisce anche sulla qualità dell'aria interna e quindi sulla salute degli occupanti.

**Umidità relativa (%)** - L'umidità relativa è il rapporto fra la quantità di acqua contenuta in un kg d'aria secca ad una certa temperatura e la quantità massima di acqua che potrebbe essere contenuta alla stessa temperatura dallo stesso kg d'aria.

L'umidità dell'atmosfera, se non è estremamente alta o bassa, ha un effetto lieve sulla sensazione di benessere.

Quando l'umidità relativa è minore del 20 % le membrane mucose si seccano ed aumentano le possibilità di infezione. A basse temperature l'aria molto secca accresce la sensazione di freddo in quanto l'umidità che raggiunge la superficie dell'epidermide evaporando provoca una spiacevole sensazione di freddo.

Per temperature dell'aria superiori ai 32 °C con l'umidità relativa oltre il 70 % si accentua la sensazione di caldo in quanto il sudore prodotto non può evaporare. In regime stazionario un aumento di l'umidità relativa del 10 % ha lo stesso effetto di un aumento di temperatura di 0,3 °C. L'influenza dell'UR aumenta se ci si sposta fra ambienti con diverse quantità della stessa (cioè in regime dinamico) aumentando l'incidenza sulla sensazione di benessere fino a 2 o 3 volte.

Possono essere considerate in ambienti civili le seguenti condizioni termoigrometriche come condizioni ottimali:

	<b>estate</b>	<b>inverno</b>
Temperatura dell'aria	26 °C	20 °C
Umidità relativa	30 % < UR < 60 %	30 % < UR < 50 %
Velocità dell'aria	0,1-0,2 m/s	0,05-0,1 m/s
Temperatura effettiva	20-22 °C	16-18 °C

## **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

Dovranno essere valutate le opportune strategie, adottando soluzioni tipologiche ed impiantistiche che permettano di controllare efficacemente la temperatura dell'aria nei diversi ambienti anche in considerazione dei fattori termici stagionali: sistemi di termoregolazione e controllo, regolazione degli impianti con attenuazione notturna senza lo spegnimento, adozione di soluzioni a pannelli radianti.

Tali soluzioni andranno opportunamente verificate per edifici ventilati naturalmente e per edifici dotati di un sistema centralizzato di condizionamento dell'aria.

Particolare attenzione andrà posta su quegli edifici che rappresentano una categoria intermedia a gestione termica mista (Mixed Mode Buildings). Requisito di qualità risulta il mantenimento della temperatura dell'aria nei principali spazi abitativi, nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento, entro un campo di 18-20°C.

Esso va accompagnato al controllo sull'umidità relativa necessario in tutti gli ambienti dove si permane a lungo, al fine di prevenire manifestazioni patologiche per gli occupanti (con umidità basse) e degrado delle condizioni igieniche degli ambienti (per umidità alte).

Nel caso di superfici vetrate e/o trasparenti, tenendo conto che i vetri sono parzialmente trasparenti alla radiazione solare incidente, la radiazione entrante colpisce le superfici interne (pavimenti, arredi, muri) provocando un riscaldamento di tali corpi che a loro volta cedono calore per convezione e irraggiamento all'aria ambiente (la parte restante viene ceduta agli ambienti confinanti) con un ritardo che dipende dalla loro capacità termica.

L'effetto risultante è un aumento della temperatura dell'aria interna con tanto maggiore ritardo ed attenuazione quanto più grande è la capacità termica delle pareti interne, divisori, soffitto, pavimento, arredi etc..

## **Scheda 4.8 Controllo dell'umidità delle pareti**

### **SPECIFICHE**

Categoria di requisito: QUALITA' DELL'ARIA

### **Inquadramento della problematica**

L'applicazione, sulla superficie esterna o interna delle pareti degli edifici, di materiali isolanti termici richiede l'analisi dei problemi igrometrici insieme alle esigenze di contenimento dei consumi energetici. Non sempre le soluzioni adottate portano benefici per quanto riguarda il trasporto del vapore.

### **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

Per interventi di nuova edificazione, le soluzioni scelte per le pareti perimetrali devono soddisfare non solo a requisiti di tipo energetico, ma anche di tipo igrometrico (Legge 10/91). L'idoneità dell'intervento dipende dalla zona climatica in cui si opera ed alcuni aspetti del problema sia in relazione ai fenomeni di superficie (alti valori di umidità relativa, tali da provocare proliferazione di muffe), sia a quelli interstiziali (condensazione del vapore all'interno delle strutture).

Le valutazioni vanno effettuate in base alla norma UNI 10350/99 che considera gli aspetti di trasmissione del vapore e condensazione nelle strutture edilizie e che prescrive i procedimenti per il calcolo della temperatura superficiale tale da evitare valori critici dell'umidità relativa in corrispondenza delle superfici e necessaria per la previsione della condensa interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo.

L'attuale EN ISO13788 del luglio 2001 sostituisce tale norma, ma non comporta sostanziali differenze nell'applicazione del metodo.

La presenza di muffe o situazioni di degrado imputabili ad acqua da condensazione, superficiale e/o interstiziale nelle pareti degli edifici comporta una riduzione della qualità dell'aria interna (IAQ).

I danni che derivano sono quelli tipici del degrado causato dall'acqua: trasporto di sali, gelività, formazione della muffa. Inoltre la condensazione interstiziale causa la riduzione del potere isolante della struttura e quindi un aggravamento del fenomeno.

L'umidità si accumula nelle porosità della muratura, nelle intercapedini. Durante la stagione estiva l'umidità eventualmente accumulatasi d'inverno deve poter evaporare asciugando la muratura. Non sempre ciò avviene, nelle pareti poco soleggiate (ad es. a nord) o in presenza di superfici poco traspiranti verso l'esterno. In questi casi la muratura si presenterà alla successiva stagione invernale con dell'umidità residua e quindi la situazione è destinata a peggiorare progressivamente negli anni.

Per evitare questi fenomeni è opportuna una verifica in sede progettuale, quale quella del diagramma di Glaser. Si tratta di una verifica in favore di sicurezza che individua il rischio di condensa interstiziale. Il metodo di Glaser consente di calcolare la quantità di vapore condensata, in condizioni convenzionali cautelative (70% URi, temperatura interna di progetto; 90% URe e temperatura esterna di progetto per un periodo di 60 giorni).

Nel caso si verifichi condensazione, il metodo consente il calcolo della quantità evaporabile nella stagione estiva, in condizioni convenzionali. A titolo informativo, la nuova normativa in elaborazione prevede un diverso utilizzo di tale metodo: essa fa riferimento a condizioni medie mensili di temperatura ed umidità per l'esterno (mese per mese) ed a condizioni reali di temperatura e produzione di vapore per l'interno.

Per ovviare al problema, qualora sia possibile basterebbe aumentare lo spessore dell'isolante che comporta un innalzamento delle temperature superficiali oppure inserire la barriera al vapore. Quest'ultima ha una resistenza al vapore fissa che dipende dalla sua tipologia.

La barriera al vapore impedisce il passaggio di vapore d'acqua per controllare il fenomeno della condensa. La barriera al vapore consiste in uno strato di materiale impermeabile ai liquidi che protegge la parte più delicata destinata all'isolamento termico

Non bisogna assolutamente pensare che essa serva ad impedire eventuali infiltrazioni dall'esterno: per tale scopo sono necessari diversi accorgimenti costruttivi. La sua utilità è solo contro il vapor acqueo proveniente dagli ambienti interni e che potrebbe penetrare fino al materiale isolante termico: dunque va posta dalla parte rivolta all'interno della costruzione.

E' possibile contrastare il fenomeno della condensa, in fase di progettazione con un'adeguata ventilazione degli ambienti, verificando le ipotesi di condensa interstiziale ed eliminando se possibile, i ponti termici.

E' possibile prevedere un sistema di aspirazione meccanico di piccola portata che aspiri l'aria dai bagni e dalla cucina ed installare bocchette di ventilazione autoregolanti sui cassonetti o sui serramenti dei locali di soggiorno in modo da far muovere l'aria dai locali meno inquinati verso quelli più inquinati.

La normativa impone anche la verifica della temperatura minima delle superfici interne delle pareti e dei ponti termici; per una buona correzione dei ponti termici è sufficiente che venga soddisfatta la relazione  $FT > 0,7$  dove FT (fattore di temperatura) è dato da:

- $FT = (T_p - T_e) / (T_i - T_e)$
- $T_p$  = temperatura superficiale della parete interna
- $T_e$  = temperatura esterna
- $T_i$  = temperatura interna

In generale è possibile controllare il problema legato alla condensa superficiale interna ed interstiziale delle pareti esaminando:

- La progettazione della stratigrafia delle pareti inserendo barriere al vapore e controllando le prestazioni mediante il diagramma di Glaser.
- Utilizzare sistemi di ventilazione naturale e/o meccanica.
- La riduzione della trasmittanza dei ponti termici.

che deve risultare non inferiore alla temperatura di rugiada.

## **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

L'errore più frequente consiste nel porre una barriera vapore a valle dell'isolante, verso l'esterno.

Anche la realizzazione di rivestimenti di facciata plastici o ceramici possono comportare problemi se non verificata preventivamente a livello progettuale.

La soluzione radicale del problema della condensa attraverso la realizzazione di un rivestimento isolante a cappotto, continuo su tutta la superficie esterna, senza escludere i pilastri, le travi di bordo, davanzali, velette, logge, porticati, ecc. consente l'eliminazione del problema.

Nel caso tuttavia è necessario un attento esame che prevede per prima cosa una misura delle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente, infatti si constata spesso un eccesso di umidità che va ridotta.

Di solito la cucina dispone di una canna di aspirazione ma la cappa è quasi sempre del tipo a ricircolo; si deve quindi prevedere un sistema di aspirazione meccanico di piccola portata che aspiri l'aria dai bagni e dalla cucina.

Contemporaneamente occorre installare delle bocchette autoregolanti sui cassonetti o sui serramenti dei locali di soggiorno in modo da far muovere l'aria dai locali meno inquinati verso quelli più inquinati.

Spesso la formazione di condensa è causata dalla presenza di una tubazione dell'acqua priva di coibentazione ed annegata nella muratura, ciò può dare luogo a processi di corrosione per effetto della presenza di acqua e di disgregazione dell'intonaco.

Il fenomeno è dovuto anche in questo caso al vapore che migrando all'interno della muratura va a condensare sulla superficie fredda della tubazione. Il fenomeno è analogo a quello che si riscontra d'estate

nei locali destinati a cantine: l'aria calda estiva, carica di umidità condensa sulle superfici fredde (tubazioni etc.). In generale se si desidera minimizzare i rischi di formazione di condensa occorre:

- ridurre la trasmittanza del ponte termico [W/m K];
- impiegare per la correzione dei ponti termici materiali isolanti che forniscano ottime prestazioni in termini di resistenza termica e di durata nel tempo;
- aumentare la ventilazione, evitando il ristagno dell'aria in corrispondenza di certi ambienti, degli angoli, dietro ai mobili, ecc
- verificare che il fattore di temperatura FT sia maggiore o al limite uguale a 0,7.

## **Approfondimento della problematica**

### **Riferimenti normativi:**

Attualmente in Italia esistono obblighi solo per i luoghi di lavoro introdotti dal Dlgs 241/2000 "Adempimenti per la esposizione al radon nei luoghi di lavoro" che ha modificato il Dlgs 230/95.

### **Riferimenti tecnici:**

Per gli ambienti residenziali e le acque destinate ad uso potabile esistono raccomandazioni della Comunità Europea:

RACCOMANDAZIONE EURATOM n. 143/90 della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi (in Gazz. Uff. CEE, 27 marzo, L 80);

RACCOMANDAZIONE EURATOM n. 928/01 della Commissione del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile [notificata con il numero C(2001) 4580].

In Italia:

Conferenza Permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" (in Gazz. Uff., 27 novembre 2001);

Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano "Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" (versione definitiva approvata il 6 febbraio 2003).

### **Sinergie con altri requisiti:**

*Scheda 3.3 - Permeabilità delle superfici*

*Scheda 4.12 - Ventilazione ricambi d'aria*

## **Scheda 4.9 Controllo degli agenti inquinanti: Fibre minerali**

### **SPECIFICHE**

*Categoria di requisito: QUALITA' DELL'ARIA*

### **Inquadramento della problematica**

Di diversa natura, sia naturale che artificiale, in edilizia trovano particolare applicazione le fibre minerali sintetiche (MMMF): vetro usato, scorie di altoforno o roccia sedimentaria vengono liquefatti ad elevate temperature e compressi attraverso degli ugelli per formare delle fibre che poi vengono assemblate con leganti problematici (resine di formaldeide, resine ureiche, resine fenoliche).

Esistono vari tipi di fibre minerali: lana di vetro, lana di roccia e di scoria, fibra di ceramica, fibre di carbonio e numerose altre. Tutte vengono utilizzate in edilizia, prevalentemente per l'isolamento termico ed acustico oltre che come materiale isolante generico, ad esempio nei soffitti in costruzioni leggere e nelle stufe ad accumulo notturno. Con la legge n. 257 del 27.3.92 che impone, a partire dal marzo del 1993 (con una proroga di un anno per i manufatti in lastra o in tubi a base di cemento) il divieto d'impiego dell'amianto, queste fibre vengono oggi utilizzate anche per sostituire l'amianto; in effetti, esse trovano impiego in quasi tutti i tipi di edifici e abitazioni.

Si trovano in commercio sotto forma di lane minerali sfuse, feltri, pannelli e altri prodotti compositi per isolamento e per controsoffittature a base di lana di roccia e di vetro.

Come molti materiali fibrosi utilizzati in edilizia, questi prodotti con il tempo si degradano disperdendo microfibre che, avendo una dimensione tale da poter essere inalate, tendono ad accumularsi nei polmoni e causare differenti patologie polmonari, dalle infiammazioni al cancro al polmone e mesotelioma (A.A.V.V., 2002).

Valutazioni sull'effetto cancerogeno associato all'esposizione a fibre minerali artificiali sono riportate nella monografia IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) n. 43 del 1988.

La dispersione di fibre in ambiente, particolarmente elevata nelle operazioni di manutenzione, rimozione e smaltimento, è regolamentata dalla direttiva CEE 67/548 e successive modificazioni che prevede modalità per la manipolazione dei prodotti fibrosi, mentre la Circolare del Ministero della Sanità del 25/11/91 n.23 fornisce prescrizioni per il loro corretto impiego.

La presenza di polveri e fibre in ambienti indoor è normalmente legata al grado di usura dei prodotti come pavimentazioni, tappezzerie, intonaci, pitture o alla possibilità che materiali fibrosi (come alcuni tipi di isolanti) entrino in contatto con l'aria interna.

E' questo il caso, per esempio, degli isolanti fibrosi utilizzati in controsoffitto o nelle tubazioni del condizionamento.

Per l'uso di questi prodotti non sono generalmente richieste particolari operazioni di manutenzione.

La verifica dello stato di conservazione dell'isolante deve essere effettuato periodicamente in tutti quei casi in cui sono previsti strati di protezione che non sono in grado di trattenere l'eventuale rilascio di fibre e, quindi, di consentire una considerevole dispersione di fibre libere.

Gli effetti sulla salute connessi all'uso di questi materiali interessano in particolare modo l'ambito applicativo, difatti evidenti sono gli effetti a livello d'irritazioni alla cute, alle mucose, alle prime vie respiratorie e oculari, conseguenti all'inalazione delle fibre rilasciate dai pannelli dopo un certo periodo di tempo. Per le operazioni di installazione e soprattutto di rimozione è opportuno dotare gli operatori di mascherine protettive con capacità di captazione di particelle inferiori a 3 micron, d'indumenti protettivi e di guanti idonei.

La pericolosità è in funzione delle caratteristiche fisiche di polveri e fibre (dimensioni e quindi inalabilità), della concentrazione nell'aria e del tempo di esposizione. Le fibre di lana di roccia e di vetro sono considerate, per esempio, meno pericolose rispetto all'amianto in quanto hanno la proprietà di non separarsi longitudinalmente in fibre con diametro minore, riducendo così il rischi di diffusione nell'aria di particelle piccole.

Inoltre le concentrazioni di fibre sono molto differenti a seconda che si tratti di montaggio o di smontaggio: precisamente, nella fase di eliminazione di strutture a base di fibre, sono state misurate concentrazioni circa dieci volte superiori a quelle registrate nella loro messa in opera. In caso di rimozione per sostituzione o a seguito di modifica distributiva, il rischio di dispersione di fibre libere può interessare non solo gli addetti coinvolti nelle operazioni di rimozione, ma gli ambienti interni anche a notevole distanza di tempo dall'effettuazione dei lavori.

In sintesi, i fattori influenzanti il rilascio di polveri e fibre sono:

- la composizione del prodotto;



- la validità del legante (matrice in cui sono contenute le fibre);
- il tipo e lo stato della finitura superficiale;
- l'età del materiale e lo stato di manutenzione;
- gli interventi sul prodotto (manipolazione, lavorazione).

## **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

### ***Verificare i materiali da costruzione e di finitura della casa***

Evitare categoricamente l'utilizzo di materiali fibrosi "liberi" (ad esempio tappeti di lana di vetro o di roccia stesi sul solaio del sottotetto). Se si sceglie questo tipo di isolamento occorre accuratamente confinarlo dentro murature chiuse o altri involucri che impediscano la dispersione delle fibre (ad esempio solide "fodere" sigillate in polietilene, in carta nera Kraft, in carta alluminata retinata e rinforzata o in velo vetro). Provvedere a isolare con finiture leganti i punti in cui i pannelli rigidi hanno subito tagli, in modo da conservare integro il prodotto. Nel caso, inoltre, d'impiego di pannelli accoppiati ad elementi protettivi alcuni problemi possono derivare non tanto dalla nocività specifica dei singoli materiali, quanto dal fatto che l'impiego di barriera al vapore debba essere valutato in relazione alle possibilità di smaltire in altro modo (ventilazione dell'intercapedine, deumidificazione o condizionamento dell'aria interna, ecc.) l'umidità proveniente dagli ambienti interni.

### ***Far provvedere alla rimozione dei componenti che contengono amianto***

Fra gli elementi a rischio non immediatamente identificabili sono i rivestimenti interni delle canalizzazioni dell'aria, i pannelli fonoisolanti in genere e i pavimenti vinilici precedenti al 1994 (apparentemente in PVC, potrebbero essere in "vinil-amianto", cioè prodotti in associazione con amianto).

Le operazioni di rimozione di vernici o elementi contenenti amianto vanno condotte da specialisti e con grandi precauzioni e i materiali rimossi vanno smaltiti come rifiuti speciali secondo le indicazioni delle Asl della zona.

Per le grandi strutture (tetti o grandi edifici) questi interventi possono rivelarsi molto costosi:

in alternativa è possibile "congelare" le fibre di amianto, impedendone così l'aerodispersione, con trattamenti "incapsulanti", effettuati con spruzzature di materiali che solidificano imprigionando al loro interno le fibre. Sono da preferire i trattamenti caratterizzati da due strati di colore diverso: l'affiorare del colore nascosto segnala la necessità di un nuovo intervento di manutenzione.

Ad oggi l'unica strategia di intervento efficace consiste nell'evitare l'impiego di materiali pericolosi o insalubri da sostituire con materiali igienicamente idonei.

A tal fine sarebbe auspicabile la definizione di procedure tecniche standard di saggio delle emissioni, classificazione dei materiali per le proprietà igieniche e ambientali, etichettatura e marchi di qualità dei prodotti per l'orientamento dei professionisti del settore e dei consumatori, tenendo conto anche di quanto previsto dalla Direttiva 89/106/CEE concernente i materiali da costruzione e dalla Direttiva 67/548/CEE concernente la limitazione dell'immissione sul mercato e dell'uso di talune sostanze e preparati pericolosi, recepita dal D.M. 12.8.1998 del Ministero della Sanità e che prevede che non debbono essere immessi sul mercato sostanze e preparati classificati come cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione, nelle categorie 1 e 2.

Come sostitutivi dei materiali in fibre minerali artificiali si raccomandano il lino, la lana di cocco, il sughero, la cellulosa, le stuoie di canne, segature, paglia, corteccia di alberi, lana di pecora, cotone o canapa.

## **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

### **Riferimenti tecnici:**

Circolare del Ministero della Salute n° 23, 25.11.91: "Usi delle fibre di vetro isolanti: problematiche igienico-sanitarie; istruzioni per il corretto impiego".

### **Sinergie con altri requisiti:**

*Scheda 3.3 - Permeabilità delle superfici*

*Scheda 4.12 - Ventilazione ricambi d'aria*

## **Scheda 4.10 Controllo degli agenti inquinanti: VOC**

### **SPECIFICHE**

*Categoria di requisito: QUALITA' DELL'ARIA*

### **Approfondimento della problematica**

Con la denominazione di composti organici volatili (VOC o COV) viene indicata una serie di sostanze sotto forma di vapore in miscele complesse, con un punto di ebollizione che va da un limite inferiore di 50-100 °C a un limite superiore di 240-260 °C.

Il DM 44/2004 definisce "composto organico volatile (COV): qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 K una pressione di vapore di 0,01 kPa o superiore, oppure che abbia una volatilità corrispondente in condizioni particolari di uso. E' considerata come un COV, la frazione di creosoto che alla temperatura di 293,15 K ha una pressione di vapore superiore a 0,01 kPa".

I composti che rientrano in questa categoria sono più di 300 (Berglund et al., 1986).

Tra i più noti ci sono gli idrocarburi alifatici (dal n-esano, al n-esadecano e i metilenesani), i terpeni, gli idrocarburi aromatici (benzene e derivati, toluene, o-xilene, stirene), gli idrocarburi clorinati (cloroformio, diclorometano, clorobenzeni), gli alcoli (etanolo, propanolo, butanolo e derivati), gli esteri, i chetoni, e le aldeide (formaldeide).

Oltre ad essere pericolosi (ad esempio formaldeide, benzene, ecc.) concorrono alla produzione dello smog fotochimico attraverso una complessa cinetica che coinvolge gli ossidi di azoto e porta alla formazione di perossidi organici molto aggressivi e di ozono.

Tutti i VOC hanno la proprietà comune d'evaporare facilmente a temperatura ambiente, e di diffondersi nell'aria sotto forma di gas.

In ambienti indoor è possibile accorgersi subito di una forte presenza di VOC grazie al loro forte odore, spesso anche pungente.

L'emissione di VOC's è più alta all'inizio della vita del prodotto e tende a diminuire notevolmente in tempi abbastanza brevi (da una settimana per i prodotti umidi, come vernici e adesivi, a sei mesi per altri composti chimici).

Fa eccezione la formaldeide, che tende a presentare rilasci relativamente costanti per molti anni. La concentrazione è funzione del rapporto tra superficie emittente e volume dell'ambiente e dei ricambi orari; la pericolosità è in funzione del/dei tipi di sostanza, delle sinergie con altre sostanze presenti nell'ambiente, della concentrazione e del tempo di esposizione.

La concentrazione dei VOC all'interno delle abitazioni è generalmente superiore a quella dell'ambiente esterno.

Misure effettuate in diverse indagini e raccolte e analizzate dall'OMS (WHO, 1989) hanno portato ad alcune considerazioni: i dati delle concentrazioni riscontrati nelle indagini sono tra loro confrontabili e sono ritenuti sufficientemente rappresentativi della situazione Europea; le concentrazioni indoor sono generalmente superiori alle concentrazioni outdoor (fino anche a 30 volte); la mediana di molti composti è di diversi ordini di grandezza inferiore ai limiti esistenti per le esposizioni occupazionali.

In alcuni casi particolari le concentrazioni possono raggiungere valori molto alti: alcuni edifici presentano una concentrazione superiore al limite fissato dalla legge svedese di 1 mg/m<sup>3</sup> (l'Italia non ha ancora legiferato in questo settore, il DM 44/04 è relativo alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili di talune attività industriali).

La continua introduzione di nuovi prodotti modifica continuamente il quadro delle sostanze presenti e le relative concentrazioni.

### **Inquadramento della problematica**

Negli ambienti confinati le sorgenti di VOC si trovano in:

- *Prodotti per la pulizia:* cere per pavimenti e mobili (liquide e in aerosol), paste abrasive, detergenti per stoviglie, deodoranti solidi e spray, prodotti per la pulizia dei bagni, dei vetri, dei forni;

- *Pitture e prodotti associati: pitture (all'olio, uretaniche, acriliche), vernici a spirito per gommalacca, mordente e coloranti per legno, diluenti, detergenti per pennelli, sverniciatori;*
- *Pesticidi, insetticidi e disinfettanti;*
- *Colle e adesivi;*
- *Prodotti per la persona e cosmetici;*
- *Prodotti per l'auto;*
- *Prodotti per lo sviluppo fotografico;*
- *Mobili e tessuti;*
- *Materiali da costruzione;*
- *Apparecchi per il riscaldamento/condizionamento (serbatoi), cucine, camini;*
- *Fumo di tabacco;*
- *Sostanze di origine umana, animale e vegetale;*
- *Acqua potabile: volatilizzazione durante docce o bagni;*
- *Sorgenti outdoor: emissioni industriali, emissioni da veicolo.*

I VOC che si liberano dai materiali da costruzione hanno periodi di permanenza in ambiente che vanno da qualche mese a qualche anno: schiume isolanti, pitture, moquette, linoleum, vernici, legni della carpenteria o dei pavimenti, ecc.

L'impiego di bombolette spray (insetticidi, cosmetici, ecc.), colle, prodotti di pulizia (detergenti, decapanti, smacchiatori, diluenti, alcool da ardere, acqua ragia, ecc.), costituisce una fonte permanente d'emissione istantanea di VOC nell'atmosfera.

La loro concentrazione è inoltre incrementata dal fumo di tabacco nell'ambiente (FTA).

L'esposizione ai VOC può provocare effetti sia acuti che cronici. Secondo le concentrazioni gli effetti acuti possono includere: irritazioni agli occhi, naso, gola; mal di testa, nausea, vertigini, asma. Mentre per esposizioni ad alte concentrazioni molti di questi composti chimici possono avere effetti cronici come: cancro, danni ai reni, fegato e danni al sistema nervoso centrale.

Il benzene è considerato sostanza cancerogena, quindi, in caso d'esposizione cronica, può indurre la formazione di diverse forme tumorali.

Il contatto con i VOC avviene principalmente attraverso le vie respiratorie. Ma anche un contatto cutaneo con prodotti ricchi in VOC o con tessuti da essi contaminati (biancheria, lenzuola) può essere la causa di problemi alla salute, provocando principalmente irritazioni alla pelle o reazioni allergiche.

In caso di esposizione, i rischi maggiori li corrono i bambini piccoli, in quanto il loro apparato respiratorio è più sensibile rispetto a quello degli adulti. Comunque le persone più predisposte ad ammalarsi sono quelle con problemi respiratori (come l'asma), le persone giovani e le persone sensibili ai composti chimici.

**Classificazione degli effetti dei COV in base al range di concentrazione**

Range di concentrazione	Effetti
< 200 µg/m <sub>3</sub>	Comfort
200 µg/m <sub>3</sub> - 3000 µg/m <sub>3</sub>	Possibile insorgenza di diverse sintomatologie
3000 – 25000 µg/m <sub>3</sub>	Discomfort
> 25000 µg/m <sub>3</sub>	Tossicità

Fonte: *Mølhave, 1990.*

## **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

### **FORMALDEIDE (CH<sub>2</sub>O)**

Costituisce il composto organico volatile più diffuso e più noto.

La formaldeide, aldeide dell'acido formico, è un gas incolore e dall'odore acre e irritante.

Molto solubile in acqua, reattivo in molte sintesi e utilizzato per le più varie lavorazioni, la formaldeide si distingue da tutti gli altri composti organici volatili in quanto è presente in numerosi prodotti d'uso corrente: schiume isolanti, lacche, colle, vernici, inchiostri, resine, carta, prodotti per la pulizia, pesticidi, ecc.

La maggior parte di tipi di legno agglomerato o compensato (mobili, materiali da costruzione) ne contiene. La formaldeide è inoltre utilizzata in alcuni medicinali, cosmetici e tessuti. In uffici e ambienti residenziali la formaldeide si trova anche in tappezzeria, coloranti, materie plastiche, moquette, detersivi, conservanti, disinfettanti e fumo di tabacco.

La principale fonte di formaldeide indoor è data dalla presenza di legname di tipo pressato per il quale sono impiegate resine, urea-formaldeide e fenolo-formaldeide che rilasciano nel tempo questa sostanza (quindi nei mobili in truciolato e compensato, soprattutto quando sono nuovi). Anche l'abbigliamento e i tessuti per l'arredamento sono sorgenti di formaldeide. Dagli anni 70 molti proprietari di case, per scopi legati al risparmio energetico, hanno isolato le intercapedini delle loro abitazioni insufflando schiume a base di ureaformaldeide.

Durante i lavori d'arredo, di rifinitura o di rinnovamento di una casa, il tasso di formaldeide può raggiungere dei valori molto elevati, valori che diminuiranno nei mesi seguenti. La formaldeide può anche essere emessa da materiali danneggiati dal calore o dall'umidità.

Gli effetti della formaldeide sono molto differenti a seconda dei casi: delle persone deboli possono presentare alcuni sintomi anche quando il tasso è al di sotto del valore raccomandato.

La formaldeide provoca, anche in piccole concentrazioni, irritazioni e infiammazioni agli occhi (pruriti, lacrimazione), alle vie respiratorie (naso, gola, polmoni) e alla pelle (arrossamento, prurito, eczemi). Può anche avere delle conseguenze a livello neurologico, traducendosi in stanchezza, angosce, emicranie, nausea, sonnolenza o vertigini.

L'esposizione alla formaldeide può sfociare in un'ipersensibilità o nello sviluppo di un'allergia. A contatto con la pelle, attraverso cosmetici o tessuti, può provocare un'allergia di contatto.

Alcuni studi epidemiologici hanno dimostrato una relazione tra lo sviluppo di tumori e le persone esposte in ambienti professionali a forti dosi di formaldeide.

Attualmente è possibile controllare la quantità di formaldeide emanata dal legno usato per la produzione di mobili. Infatti si può richiedere la certificazione CQA (Catas Qualità Award) Formaldehyde: questa è una certificazione emessa dal CATAS che contraddistingue i pannelli derivati dal legno, grezzi o rivestiti, indicandone il basso contenuto (e conseguente emissione) di formaldeide.

La valutazione viene fatta seguendo le norme europee:

ENV 717-1: Emissione della formaldeide con il metodo della camera;

ENV 717-2: Rilascio della formaldeide con il metodo dell'analisi del gas;

EN 120: Contenuto di formaldeide con il metodo al perforatore.

Oltre ai controlli periodici sul singolo prodotto effettuati dal Catas, l'azienda certificata deve eseguire al proprio interno almeno una prova giornaliera per tipologia di prodotto certificato o comunque il numero di prove concordate per contratto. La classificazione viene fatta seguendo le direttive DIBt tedesche che prevedono le sigle E1 per i pannelli grezzi ed E1b per quelli da rivestire.

L'attuale norma europea EN 120 prevede 3 classi distinte: E1, E2, o E3. La classe E1 identifica i pannelli legnosi con la minore emissione.

Nella Comunità Europea non sono stati definiti limiti legali di esposizione.

Esistono valori di soglia massima fissati da istituti internazionali.

Nel 1987, in base agli studi effettuati, la WHO (World Health Organization) definì, come concentrazione limite di formaldeide per gli ambienti interni, prima di scatenare effetti irritanti, il valore soglia di 0,1 mg/m<sup>3</sup>, specificando che una concentrazione di 0,3 mg/m<sup>3</sup> determina un notevole incremento degli effetti irritanti in soggetti sani (WHO, 1987).

Dal 1992 al 2002, l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist); non ha variato il valore proposto (0,3 ppm; 0,37 mg/m<sup>3</sup>) e la classificazione A2 (sospetta cancerogena per l'essere umano), ma ha introdotto la notazione sensibilizzante: cioè, grazie agli ultimi studi, si è riconosciuto che la formaldeide causa delle reazioni di sensibilizzazione permanenti.

Il D.M. 22/9/97 (norme per gli arredi di ufficio) definisce come determinare il rilascio di formaldeide dai mobili UNI EN 717-2 ed il limite per questo rilascio 3.5 mg/m<sup>2</sup> h.

#### Effetti della formaldeide sull'organismo umano dopo breve esposizione

Effetti	Formaldeide (mg/m <sup>3</sup> )
---------	----------------------------------

Soglia per la percezione degli odori	0,06 - 1,2
Soglia per l'irritazione degli occhi	0,01 - 1,9
Soglia per l'irritazione della gola	0,1 - 3,1
Sensazione pungente agli occhi ed al naso	2,5 - 3,7
Tollerabilità per la lacrimazione	5 - 6,2
Lacrimazione forte che perdura per una ora	12 - 25
Pericolo di morte, edema infiammazioni, polmoniti	37 - 60
Morte	60 - 125

Fonte: *European Concerted Action, 1989, modificata.*

Fino a poco tempo fa era necessario effettuare un adeguato campionamento dell'aria interna attraverso apposite pompe e relativi filtri che venivano in seguito analizzati in laboratorio mediante gascromatografia o spettrometria di massa. Oggi è disponibile un sistema estremamente semplice in grado di misurare in due ore la concentrazione di formaldeide presente nell'ambiente. Il Bio-check F, infatti, permette di fare in modo pratico e veloce la misurazione direttamente a casa propria, nell'ufficio o nella scuola.

Per limitare la concentrazione di VOC e i rischi ad essi legati occorre seguire tre principi: ridurre il loro impiego, rispettare le condizioni d'utilizzazione, eliminarli dall'atmosfera attraverso la ventilazione.

Per cercare di controllare l'esposizione ai VOC è importante:

- Ridurre il più possibile il numero di prodotti e materiali contenenti VOC's;
- Provvedere ad una corretta aerazione della casa;
- Mantenere l'umidità tra il 40 e il 60%;
- Nel trattamento dei materiali contenenti VOC's, se si usa un altro materiale per ricoprire, è necessario essere sicuri che il prodotto coprente non contenga altri VOC's;
- Usare purificatori per l'aria;
- Evitare i prodotti di cui non è verificabile la composizione e seguire attentamente le istruzioni per l'utilizzo di qualunque prodotto;
- Preferire materiali da finitura esenti da solventi sintetici e arredi realizzati in legno massiccio, con ridotto uso di colle, o in prefiniti esenti da formaldeide.
- Se per questioni economiche si acquistano arredi realizzati in pannelli truciolari, esigere almeno la certificazione E1 (basso contenuto di formaldeide);
- Evitare di installare arredi realizzati con pannelli truciolari nelle stanze di lungo soggiorno, nei bagni e nelle cucine (il calore e l'umidità aumentano l'intensità e la nocività delle emissioni);
- Preferire sempre tessuti naturali per l'arredamento. Posare le moquette "tirate" piuttosto che con l'uso di colle;
- Verificare i componenti dei materiali di costruzione e di finitura, dei prodotti detergenti e per la manutenzione, e comunque non conservare o abbandonare le confezioni vuote in cantiere, ma portarle nei punti di raccolta per rifiuti speciali;
- Preferire olii e cere naturali per la manutenzione degli arredi in legno e detergenti a base vegetale;
- Ridurre nell'arredamento la presenza di ampie superfici assorbenti, come tendaggi e mantovane, moquettes, tappeti, stuoie, tappezzerie di rafia, librerie aperte: tutte queste superfici assorbono le sostanze inquinanti occasionali (fumo di sigarette, smog, esalazioni di solventi) per poi rilasciarle lentamente nell'ambiente. Osservare maggiori precauzioni per i bambini e per i soggetti deboli.

Alcune piante possono essere utili per ridurre le concentrazioni di VOC: le piante per loro natura assorbono anidride carbonica e monossido di carbonio restituendo ossigeno; in generale le piante riequilibrano l'aria delle nostre case, ed alcune sono in grado di metabolizzare sostanze chimiche pericolose presenti negli ambienti confinati.

Le piante più indicate per ridurre le concentrazioni di formaldeide sono: dracena, aloe, clorofito, crisantemo, gerbera, giglio, peperomia, sansevieria, ficus.

### **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

#### **Riferimenti normativi:**

D.Lgs. 626/94 e successive integrazioni e modifiche (soprattutto il D.Lgs. 25/2000): il Titolo VII, Protezione dagli agenti cancerogeni e il Titolo VIII Protezione da agenti biologici introducono due rischi nuovi riferiti

specificamente ai luoghi di lavoro, mentre non è ancora stato affrontato a livello centrale il tema della protezione di tutta la popolazione.

Decreto Ministeriale del 26 febbraio 2004, «Definizione di una prima lista di valori limite indicativi di esposizione professionale agli agenti chimici» (Pubblicato su G.U. n. 54 del 10 marzo 2004).

Fino al D.M. 26/02/2004, la legislazione italiana non ha stabilito dei limiti precisi ma si è riferita agli standard proposti dalle associazioni professionali.

Per quanto riguarda i locali non lavorativi, le abitazioni ed i centri ricreativi, non vi è ancora una normativa precisa ed i controlli sono molto più difficili da attuare.

**Riferimenti tecnici:**

La Comunità Europea dispone di un ampio corpus normativo per la riduzione delle emissioni atmosferiche di VOC: la direttiva 96/61/CE (IPPC) sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento mira a ridurre le emissioni di numerosi settori industriali nei vari elementi dell'ambiente.

La direttiva 1999/13/CE del Consiglio, dell'11 marzo 1999 sulla limitazione delle emissioni dei composti organici volatili prende in considerazione specificamente le emissioni di VOC provenienti da settori industriali che fanno largo uso di solventi, stabilendo i valori limite sia delle emissioni al camino che delle emissioni diffuse.

Sulla gazzetta ufficiale del 26/02/2004 è stato pubblicato il DM 16 gennaio 2004 che recepisce nel nostro ordinamento la direttiva n°1999/13/CE relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili di talune attività industriali.

**Sinergie con altri requisiti:**

*Scheda 3.3 - Permeabilità delle superfici*

*Scheda 4.12 - Ventilazione ricambi d'aria*

## **Scheda 4.11 Controllo degli agenti inquinanti : Radon**

### **SPECIFICHE**

*Categoria di requisito: QUALITÀ DELL'ARIA*

### **Approfondimento della problematica**

Il Radon si diffonde attraverso i pori e le spaccature del suolo, trasportato dall'aria o dall'acqua (nella quale è solubile). Dato un certo contenuto di radon nel suolo, la quantità di gas rilasciata varia in dipendenza della permeabilità del suolo (densità, porosità, micro fratturazioni), del suo stato (secco, impregnato d'acqua, gelato o coperto di neve) e dalle condizioni meteorologiche (temperature del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità e direzione del vento). In più, la concentrazione di radon decresce rapidamente con l'altitudine. L'acqua sotterranea, i gas naturali, il carbone e gli oceani sono altre fonti minori di radiazioni. È quindi chiaro che il radon è universalmente presente, ma la velocità di emissione varia significativamente nel tempo, anche per uno stesso luogo.

A livello regionale o locale, indipendentemente dalle condizioni prevalenti in un dato periodo, il fattore che più influenza il rilascio di radon è la natura geologica del territorio. La maggior parte del radon presente in una casa proviene infatti dal suolo sul quale essa è costruita; il radon penetra attraverso le micro lesioni, che possono essere presenti nelle murature e nei solai, lungo le tubazioni o attraverso i giunti murari. Il radon può anche provenire - in misura minore - dai materiali utilizzati nella edificazione, (tufi vulcanici, per esempio) o dai rubinetti, se l'acqua contiene del radon disciolto. L'EPA (Agenzia Americana per l'Ambiente) definisce in 4 PCi/L (picocurie per litro) pari a 148 Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel per metro cubo) il limite oltre il quale è consigliabile prevedere tecniche di riduzione del Radon.

In Europa la Comunità Europea ha determinato tale soglia in 200 Bq/m<sup>3</sup> per le nuove costruzioni e 400 Bq/m<sup>3</sup> per le abitazioni esistenti (Raccomandazione Euratom 143/90). In ogni caso la determinazione Europea non ha forza di Legge e pertanto tali limiti rimangono solo una indicazione consigliata.

Recentemente la pubblicazione del Decreto Legislativo 241/2000 ha introdotto per la prima volta nella legislazione italiana il concetto di radioattività naturale prevedendo valori di soglia solo per gli ambienti di lavoro e gli uffici pubblici. Gli ambienti residenziali, ai sensi di legge, restano quindi per ora, fuori dal controllo del Decreto; è possibile però chiedere il certificato Radon alle Scuole ed al datore di Lavoro. Nel nostro caso dovrebbe essere considerato come valore di riferimento per il risanamento degli ambienti il limite di 50 Bq/m<sup>3</sup>.

### **Inquadramento della problematica**

I Rilevatori attivi sono costituiti da dispositivi elettronici in grado di rilevare la presenza di Radon negli ambienti in continuo per ore, e giorni. I risultati sono più attendibili ma il costo per l'analisi è più elevato; essi vanno usati per determinazioni accurate in genere laddove i rivelatori passivi hanno individuato concentrazioni preoccupanti di Radon.

La variazione del riscaldamento e della ventilazione interna nonché le condizioni del tempo, danno luogo ad ampie fluttuazioni del livello di Radon indoor. In linea generale, la concentrazione di Radon indoor notturna è più alta che di giorno e d'inverno più che d'estate. Per esempio, il livello di Radon in una casa a luglio è approssimativamente la metà di quanto si registra a gennaio.

Il Kit domestico di rilevamento di Radon misura solitamente il livello di concentrazione su un periodo di circa un mese che risulta condizionato dalla stagionalità ed è poco rappresentativo dell'esposizione media annua. La stessa casa riesaminata alcuni mesi più tardi darebbe un risultato diverso.

A questo scopo è stata redatta la seguente tabella di conversione che tiene conto del periodo di esposizione per rapportare tale valore alla media annua attraverso un fattore correttivo che tiene conto della variabilità non solo climatica, ma anche di comportamento nelle diverse stagioni.

Data di Misura	Moltiplicazione Fattore	Data di Misura	Moltiplicazione Fattore
Gennaio	0.60	Luglio	1.35
Febbraio	0.62	Agosto	1.24
Marzo	0.69	Settembre	1.01
Aprile	0.72	Ottobre	0.88
Maggio	0.93	Novembre	0.73
Giugno	1.05	Dicembre	0.68

Fonte: Bristol University - Department of Physics Bristol

E' necessario sottolineare che i livelli di Radon variano notevolmente anche da una casa all'altra nella stessa strada. Il valore di concentrazione non dovrebbe essere ricavato se non da una misurazione realmente effettuata e mai riferita a quella di un vicino.

## **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

Le tecniche d'intervento che permettono la fuoriuscita del gas radon dalle abitazioni si suddividono essenzialmente in tecniche attive e tecniche passive. Queste ultime, dove possibile, sono da preferirsi perché più semplici e meno onerose .

Tra le tecniche passive la ventilazione naturale è la più comune. E' un accorgimento che diminuisce la concentrazione del gas, permettendo così una diluizione del radon. Si attua quando i valori di concentrazione interni misurati non sono molto elevati. L'apertura di finestre e porte è un espediente efficace negli insediamenti urbani e rurali ma solo quando il clima consente una continua ventilazione.

La *ventilazione forzata* (tecnica attiva) è un artificio che permette la fuoriuscita del gas in maniera razionale evitando, nelle stagioni più fredde, un eccessivo dispendio termico. Un calcolo accurato permette di convogliare all'esterno un volume d'aria ben noto che può variare secondo la concentrazione permettendo un ricircolo misurato; si parla in questo caso di *Ventilazione Meccanica Controllata* (VMC). La VMC si realizza grazie ad un ventilatore che può essere installato sul sistema centrale se esistente o che può essere installato direttamente in punti strategici dell'abitazione. Il rateo di ricambio sarà conforme alla norma UNI 10339.

Nei casi in cui i valori di concentrazione interni misurati sono elevati è importante considerare il rapporto edificio-suolo; se il terreno costituisce la fonte primaria di radon o se l'ingresso del gas avviene secondo un diverso meccanismo. A seconda del tipo di fondazione dell'edificio e delle tipologie costruttive annesse, si possono ipotizzare diversi tipi d'intervento. E' sempre comunque necessario che un Tecnico individui la soluzione più appropriata alla situazione locale.

Tra le tecniche attive, quella più comunemente utilizzata è la *depressurizzazione del vespaio o delle fondazioni*. La diversa concentrazione del radon nelle abitazioni può dipendere anche dalla differenza di pressione tra il



suolo e gli ambienti stessi e, in questo caso, è possibile diminuire la quantità di radon in ingresso modificando le condizioni di pressione. Un opportuno drenaggio costituito da pietrame permette la captazione del gas, mentre il suo allontanamento è affidato a condotti d'aspirazione forzata .

La *suzione del sottosuolo* (tecnica attiva) è applicabile in quei casi in cui è previsto un drenaggio al fine di allontanare le acque dal terreno e quando questa tubazione (perforata) forma un anello continuo, è possibile sfruttarla per far allontanare il radon. Applicando un estrattore al pozzetto di raccolta posto lontano dall'abitazione, si crea una depressione che permette l'estrazione del gas: si ottiene in taluni casi una riduzione del 98%.

La *tecnica della parete ventilata* (tecnica attiva o passiva) è applicabile quando esiste un'intercapedine tra i muri interni ed esterni, i movimenti convettivi naturali o forzati permettono l'allontanamento del gas evitando quindi l'ingresso nell'abitazione.

Interventi più semplici ma ugualmente efficaci possono essere: la realizzazione di una presa d'aria esterna, la sigillatura di tutti gli interstizi attorno alle condotte tecnologiche (acqua, gas, elettricità etc), la non perforazione del solaio con apparecchi da illuminazione ad incasso o botole, la sigillatura delle finestre, la sigillatura della porta d'accesso del piano interrato.

Per eliminare il radon in maniera sistematica, quando la concentrazione supera notevolmente le soglie, si può installare un *pozzo radon* di raccolta da collocarsi nel piano più basso dell'edificio. Il pozzo radon è costituito principalmente da mattoni non cementati, con dei larghi fori che danno la possibilità al gas radon di entrare nel pozzo che deve essere coperto da una lastra di cemento mentre attorno ad esso va posta della ghiaia grossolana. In questo modo il gas tenderà naturalmente a convogliare nel pozzo, che sarà collegato un sistema evacuante, costituito da un tubo e da una pompa aspirante.

Le tubazioni di scarico canalizzeranno il gas, portandolo preferibilmente sul tetto e lontano comunque da porte e finestre.

## **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

Un sistema analogo può essere applicato al solaio mediante l'aspirazione effettuata da un estrattore e da un sistema di tubazioni che prelevano il gas da sotto il solaio che dovrà, ovviamente, essere isolato adeguatamente. Un altro sistema di grande efficacia prevede la ventilazione tra il suolo e il piano dell'edificio grazie ad un'intercapedine: la cavità sarà provvista di fori al fine di permettere una ventilazione naturale e in altri casi forzata mediante l'uso di estrattori. Questo è attualmente il sistema più utilizzato in abitazioni di recente costruzione. E' possibile inoltre eliminare il gas che proviene dai materiali da costruzione costituenti gli edifici, utilizzando l'aspirazione direttamente dalle pareti che, preventivamente, sono state isolate all'interno.

Il punto di connessione tra solaio e parete verticale è un punto critico, per quanto riguarda il passaggio del gas. Per intervenire efficacemente è possibile utilizzare degli appositi battiscopa che consentono di aspirare il gas direttamente nei punti di giunto strutturale: anche in questo caso, delle tubazioni impermeabili convogliano il gas al di fuori dell'abitazione.

## **Strategie di mitigazione: analisi comparata**

Fonte: <http://www.radon.it>

<b>Tecnica</b>	<b>Riduzione di Radon</b>	<b>Commenti</b>
----------------	---------------------------	-----------------

	Prevedibile	
Depressurizzazione delle Fondazioni	80%-99%	Ottimo per suoli permeabili o con vespaio.
Aspirazione sotto guaina	90%-99%	Ottimo se la guaina è ben saldata e uniformemente posizionata sull'impronta della casa.
Aspirazione muraria	50%-99%	Per costruzioni con blocchi forati senza interruzioni di continuità.
Aspirazione da pozzo di drenaggio	90%-99%	Ottimo se le condizioni di fondazione permettono una buona mobilità dell'aria .
Ventilazione naturale nella cantina	0%-50%	Costi variabili.
Sigillatura delle vie di ingresso	0%-50%	Normalmente usato in combinazione con altre tecniche, richiede materiali adatti e cura nella esecuzione.
Pressurizzazione della costruzione	50%-99%	Buono per scantinati isolati dall'esterno e dai piani superiori.
Ventilazione a recupero di calore	25%-50% se per tutta la casa; 25%-75% se solo per la cantina	Uso prevalente nelle cantine
Ventilazione naturale	Variabile	Significativa perdita di calore ed aggravio dei costi di riscaldamento.

**Riferimenti normativi:**

Attualmente in Italia esistono obblighi solo per i luoghi di lavoro introdotti dal Dlgs 241/2000 "Adempimenti per la esposizione al radon nei luoghi di lavoro" che ha modificato il Dlgs 230/95.

**Riferimenti tecnici:**

Per gli ambienti residenziali e le acque destinate ad uso potabile esistono raccomandazioni della Comunità Europea:

RACCOMANDAZIONE EURATOM n. 143/90 della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi (in Gazz. Uff. CEE, 27 marzo, L 80);

RACCOMANDAZIONE EURATOM n. 928/01 della Commissione del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile [notificata con il numero C(2001) 4580].

In Italia:

Conferenza Permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" (in Gazz. Uff., 27 novembre 2001);

Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano "Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" (versione definitiva approvata il 6 febbraio 2003).

**Sinergie con altri requisiti:**

*Scheda 3.3 - Permeabilità delle superfici*

*Scheda 4.12 - Ventilazione ricambi d'aria*

## **Scheda 4.12 Ventilazione: ricambi d'aria**

### **SPECIFICHE**

*Categoria di requisito: QUALITA' DELL'ARIA*

### **Inquadramento della problematica**

L'apporto ideale d'aria esterna che fornisce garanzie di qualità in misura sufficiente a diluire l'anidride carbonica e i bioeffluenti, dipende dal tipo di locale e dalla sua destinazione d'uso, dal numero di occupanti e dal tipo di attività svolta. I valori di portata sono usualmente espressi in m<sup>3</sup>/h per persona.

### **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

Lo standard statunitense ASHRAE 62-1989 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, riporta i volumi di immissione d'aria esterna raccomandati per evitare effetti dannosi alla salute e rendere l'ambiente confortevole. I valori riguardano molte categorie diverse di ambienti di lavoro: a seconda del tipo di attività si passa da un minimo di 15 a un massimo di 60 m<sup>3</sup>/h per persona. L'approccio dello standard europeo CEN TC-156 è decisamente diverso: vengono definite tre categorie differenti per crescenti percentuali previste di soddisfatti del livello di qualità dell'aria. Vengono anche introdotte nuove unità di misura che riguardano l'inquinamento prodotto dalle fonti (Olf) e la qualità percepibile dell'aria (Decipol). In base alla percentuale di occupanti soddisfatti voluta, alla qualità dell'aria esterna ed al carico inquinante dell'ambiente, una semplice formula permette di calcolare l'apporto di aria esterna necessario.

L'utilizzo della ventilazione naturale talvolta è un elemento sufficiente in relazione all'ottenimento di idonee condizioni di qualità dell'aria. Le modalità con cui perseguire tale obiettivo sono disciplinate da norme che stabiliscono il numero di ricambi consigliati in relazione alle tipologie di apertura che si intendono adottare ed alla destinazione d'uso dell'ambiente.

### **Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto**

I sistemi di ventilazione vengono generalmente classificati in base alle modalità di movimentazione dell'aria, distinguendo quindi fra:

- ventilazione naturale: i gradienti di pressione necessari per realizzare l'immissione di aria fresca esterna e l'estrazione di aria interna viziata sono generati esclusivamente da azioni naturali, ovvero dall'effetto dinamico del vento e dai gradienti di densità dell'aria dovuti alle differenze di temperatura interno-esterno. La ventilazione naturale può essere non controllata (in questo caso si parla comunemente di "infiltrazioni d'aria"), oppure può essere realizzata attraverso l'apertura volontaria dei serramenti, oppure ancora può essere almeno parzialmente controllata tramite l'adozione di specifici accorgimenti quali l'introduzione nell'involucro esterno di bocchette di adduzione dell'aria e l'adozione di dispositivi di estrazione naturale (aeratori, camini, ecc.)

- ventilazione meccanica: è la soluzione impiantistica classica in cui il movimento dell'aria è realizzato con ventilatori e utilizza una almeno parziale canalizzazione dei percorsi dell'aria. A seconda della funzione svolta dai ventilatori si distingue fra:
  - ventilazione per semplice estrazione in cui il ventilatore di estrazione aspira l'aria dai locali da mantenere in depressione (bagni, cucine, ecc.) e l'aria esterna (non trattata) viene immessa direttamente in ambiente attraverso l'involucro esterno
  - ventilazione per semplice immissione in cui l'aria esterna (generalmente trattata) viene immessa nei locali dal ventilatore di mandata, mentre l'espulsione avviene per semplice sovrappressione attraverso l'involucro
  - ventilazione bilanciata, in cui l'impianto realizza sia l'immissione che l'estrazione dell'aria, mantenendo una condizione di sostanziale neutralità per quanto riguarda le pressioni interna ed esterna
  - ventilazione ibrida: è la soluzione intermedia fra le precedenti: si basa sulla ventilazione naturale, assistita da dispositivi meccanici che entrano in funzione solo quando le condizioni climatiche non sono idonee a garantire portate d'aria adeguate.

Mentre i sistemi di ventilazione puramente meccanica presentano un limitato livello di interferenza con l'edificio, essendo in genere sufficiente garantire spazi tecnici adeguati per il passaggio delle condotte dell'aria e per l'installazione delle unità di trattamento, nel caso della ventilazione naturale e ibrida il progetto deve per definizione integrare l'aspetto architettonico e quello impiantistico: infatti, il movimento dell'aria avviene in larga misura attraverso parti dell'edificio o elementi architettonici specifici quali atrii, cavedi, camini, ecc. Tali considerazioni pongono evidentemente notevoli vincoli architettonici, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti distributivi, il dimensionamento degli spazi ed il disegno degli elementi di involucro. Se si vuole realizzare la ventilazione trasversale, ad esempio, è necessario prevedere degli spazi connettivi trasversali che consentano il passaggio dell'aria tra locali con affaccio contrapposto; alternativamente, il passaggio dell'aria può essere realizzato con opportune canalizzazioni, talvolta ricavate all'interno delle stesse solette di interpiano: in quest'ultimo caso, si ha il vantaggio di sfruttare appieno le potenzialità di accumulo termico della struttura portante, fatto significativo per un efficace sfruttamento del raffrescamento notturno. I percorsi verticali dell'aria, che sfruttano l'effetto camino richiedono la presenza di volumi verticali aperti, la cui funzione può essere molteplice: distributiva, di illuminazione naturale e, appunto, di ventilazione.

L'approccio classico alla ventilazione, soprattutto negli edifici del terziario, utilizza impianti meccanici di climatizzazioni del tipo a ventilazione bilanciata. Tipicamente tali impianti sono costituiti da una o più unità di trattamento aria collegate ad una rete di condotte e sono dotati di filtri, serrande di regolazione, silenziatori, recuperatori di calore, ecc. Tali impianti sono in grado di distribuire le portate d'aria prefissate in ogni condizione e quindi di garantire comfort e qualità dell'aria indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne. In presenza di sistemi impiantistici di questo tipo, l'involucro edilizio deve presentare una elevata tenuta all'aria, in modo da evitare le infiltrazioni non controllate, e generalmente i serramenti non sono apribili.

Il comfort degli occupanti, in questo caso, dipende dunque integralmente dalla bontà dell'impianto; non solo, il margine di tollerabilità degli scostamenti rispetto alle condizioni ottimali risulta limitato, in linea con quanto stabilito dalla ben nota normativa ISO 7730. Gli impianti attuali sono generalmente piuttosto complessi e costosi, sia a livello di installazione sia riguardo alla gestione, soprattutto nelle applicazioni del terziario. La tendenza ad adottare standard di qualità dell'aria sempre più spinti fa inoltre sì che le portate di progetto siano elevate: conseguentemente il sistema di ventilazione è responsabile di una quota crescente del

fabbisogno energetico ed in particolare per quanto riguarda l'energia elettrica richiesta per azionare i ventilatori.

Peraltro, la presenza di un impianto di ventilazione non è di per sé sufficiente a garantire la salubrità e l'igienicità dell'edificio: anzi, la qualità dell'aria negli edifici ventilati meccanicamente è talvolta insoddisfacente tanto da essere ritenuta la causa principale di disturbi lamentati dagli occupanti. Numerose spiegazioni sono state proposte per questi inconvenienti: portate d'aria esterna insufficienti, carenze progettuali, malfunzionamento di componenti, difetti di taratura, manutenzione inadeguata, carenze costruttive, ecc.

Tali considerazioni hanno rilanciato l'interesse per la ventilazione naturale, tendenza favorita anche dallo sviluppo delle tecnologie informatiche che consentono, da un lato, di affinare i calcoli di previsione delle prestazioni di tali sistemi, dall'altro, di migliorare le strategie di regolazione e monitoraggio. La ventilazione naturale beneficia inoltre di un'immagine favorevole agli occhi del pubblico, che ne apprezza le caratteristiche di compatibilità ambientale e di "naturalità". La ventilazione naturale non consente peraltro di garantire in tutte le situazioni un controllo spinto della qualità dell'aria, né delle condizioni termoigrometriche. La logica evoluzione del concetto di ventilazione naturale è rappresentata dalla ventilazione ibrida, che consiste nel prevedere sistemi meccanici integrativi a supporto del movimento naturale dell'aria. Come per la ventilazione naturale, l'adozione di una strategia di ventilazione ibrida si traduce in edifici con una dotazione impiantistica tradizionale limitata, poiché è l'edificio stesso che realizza in larga misura i percorsi di movimentazione dell'aria. Alla riduzione nel costo di investimento per impianti si accompagna un incremento dei costi architettonici: aumento del volume disponibile per persona, una forma favorevole al movimento dell'aria, componenti di involucro e serramenti più complessi, ecc. I sistemi ibridi presentano peraltro alcune limitazioni. A seconda della potenza dei ventilatori, un sistema ibrido può essere più o meno idoneo a controllare la temperatura interna nei giorni caldi. L'integrazione di filtri e di recuperatori di calore peggiora le prestazioni della ventilazione naturale, aumentando la potenza dei ventilatori integrativi; l'efficienza dei recuperatori è inoltre peggiore rispetto agli impianti meccanici. Il rischio di trasferimento di rumore attraverso i percorsi dell'aria è maggiore rispetto ad un impianto tradizionale. Infine i sistemi di ventilazione naturale o ibrida possono essere difficilmente conciliabili con i vincoli imposti dalle norme di prevenzione incendi. Con sistemi di ventilazione naturale mediante camini, nelle condizioni invernali, particolarmente in climi caratterizzati da moderata ventosità, il movimento dell'aria è dovuto essenzialmente all'effetto camino, ovvero al gradiente di pressione determinato dalla differenza di densità dell'aria esterna (più fredda e pesante) rispetto all'aria interna (più calda e leggera). Come noto, a parità di differenza di temperatura interno-esterno, la prevalenza motrice generata aumenta linearmente con la differenza di quota geometrica fra la sezione di immissione dell'aria (situata in basso, in genere nella parte occupata dell'ambiente) e la sezione di espulsione dell'aria.

Qualsiasi elemento edilizio che realizzi un percorso verticale dell'aria (vani scala, cavedi, atrii, ecc.), di sezione idonea e possibilmente privo di ostacoli interni, rappresenta dunque un elemento favorevole all'insorgere del fenomeno. E' possibile dunque impostare la progettazione architettonica secondo una filosofia favorevole alla ventilazione naturale, realizzando ampi spazi interni di distribuzione verticale dotati di aperture verso l'esterno sia nella parte bassa che in quella alta ed introducendo nell'edificio vere e proprie strutture destinate alla sola estrazione dell'aria (camini). L'effetto del camino può essere esaltato sfruttando l'azione della radiazione solare incidente sulla superficie esterna del camino, che determina un incremento di temperatura dell'aria nel camino e quindi un aumento della prevalenza motrice. La prevalenza motrice

naturale può essere integrata dall'azione di ventilatori di idonee caratteristiche: in particolare essi devono presentare una modesta resistenza fluidodinamica al passaggio dell'aria, in modo da non costituire un ostacolo al deflusso naturale, e possono essere alimentati attraverso pannelli fotovoltaici. Particolarmente critico è l'aspetto delle aperture destinate al passaggio dell'aria attraverso l'involucro, che devono garantire i requisiti di sicurezza rispetto all'intrusione e alla prevenzione incendi e di isolamento acustico. Talvolta tali aperture sono integrate nel serramento esterno.

La ventilazione naturale quindi può essere classificata in due tipi

- ventilazione naturale, utilizzante unicamente forze "naturali" (vento, effetto camino), nelle condizioni microclimatiche, esterne ed interne, date dalle caratteristiche del contesto;
- ventilazione indotta, utilizzante forze "naturali", ma in condizioni microclimatiche modificate da specifiche tecnologie (camino solare)

La parete ventilata è un esempio di ventilazione passiva che sfrutta l'effetto camino (camino solare).

Ricordiamo che i principali sistemi di ventilazione passiva sono:

- ventilazione passante (orizzontale o verticale);
- ventilazione a lato singolo (singola apertura o apertura multipla);
- ventilazione combinata vento - effetto camino
- ventilazione ibrida (immissione d'aria a vento ed estrazione assistita da ventilazione meccanica)

D'altra parte il tema della ventilazione naturale si lega alle infiltrazioni d'aria in un edificio attraverso porte e finestre. In presenza di edifici più o meno isolati, la finestra, elemento vetrato e apribile è quindi particolarmente vulnerabile dal punto di vista della "tenuta energetica", avrà un compito essenziale nel controllo del flusso di energia (luce, calore, aria, rumore) per realizzare gli obiettivi di bilancio energetico e di comfort ambientale: bassa dispersione termica, elevata impermeabilità all'aria, illuminazione naturale diurna, adeguate schermature solari in estate e apporti solari gratuiti in inverno.

E' possibile inserire le bocchette o griglie di ventilazione all'interno del serramento o del suo cassonetto. Le prese d'aria si distinguono, secondo le dimensioni, in bocchette o grigliette di ventilazione e aeratori; secondo le prestazioni, in fisse (con aerazione permanente), regolabili, autoregolanti e isofoniche (con abbattimento dei rumori esterni). Per le prese fisse e regolabili si terrà conto della superficie di aerazione, per quelle autoregolanti e isofoniche del passaggio d'aria calcolato in  $m^3/h$ . L'installazione avverrà nella zona alta del serramento per evitare correnti d'aria a altezza d'uomo e la movimentazione avverrà con manopola, cordicelle o aste o con motori azionati da interruttore o sonde. Le bocchette e le grigliette, in alluminio o in PVC, con dimensioni e passaggi d'aria ridotti (di solito max. 100 cm), si applicano in appoggio sul profilo dell'infisso (una all'interno e una all'esterno), sul cassonetto dell'avvolgibile, nel muro oppure all'interno del cassonetto.

Gli aeratori con dimensioni e passaggi d'aria maggiori sono composti da due griglie in alluminio, una esterna con funzione di barriera per la pioggia (deflettore) e una interna dotata di rete zanzariera e di parti mobili per la regolazione del flusso d'aria; esistono versioni con taglio termico e con ventilazione forzata. Si applicano nella parte superiore o inferiore dei vetri (senza forare il doppiovetro per non vanificare l'isolamento termico e

acustico) oppure su traverso. La scelta della presa d'aria dipenderà dalle esigenze di ventilazione dell'ambiente; il suo punto di installazione dalla permeabilità all'aria dell'eventuale schermatura, vale a dire:

- *Tapparella avvolgibile*: su cassonetto, su vetro o su profilo dell'anta;
- *Persiana*: su vetro o su profilo dell'anta;
- *Scuretta*: su vetro, su profilo dell'anta, su muro;
- *Controfinestra*: su vetro, su traverso o su profilo dell'anta di entrambi gli infissi;
- *Finestra senza schermature*: su vetro o su traverso;
- *Porte e sportelli per caldaie*: in appoggio o a incastro sul pannello;
- *Porte interne*: in appoggio o a incasso

I sistemi di ventilazione forzata vengono classificati

**per funzione**

- Ventilation fornitura ed espulsione dell'aria allo scopo di mantenere le condizioni climatiche e di qualità dell'aria interne richieste
- Climate fornitura ed espulsione dell'aria allo scopo di mantenere le condizioni termoigrometriche interne richieste
- Heating or cooling sistemi di ricircolazione che garantiscono all'edificio il necessario riscaldamento e/o raffrescamento
- Combined system sistemi con funzioni combinate per garantire condizioni termoigrometriche richieste e livelli di qualità dell'aria richiesti

**per distribuzione**

- Centralizzata, un impianto centralizzato fornisce ed estrae aria dall'intero edificio;
- Decentralizzato, ciascuna stanza o ambiente dell'edificio ha la sua unità di ventilazione
- Combinato, utilizza entrambi centralizzato e decentralizzato

**per principio di ventilazione**

- Dislocazione - CAV (Constant Air Volume) oppure VAV (Variable air volume)
- Miscelazione del flusso d'aria attraverso l'ambiente- CAV (Constant Air Volume) oppure VAV (Variable air volume).

Nel caso di soluzioni a ventilazione forzata per porte e finestre le soluzioni possono essere:

- a semplice flusso autoregolabile (bocchette collocate sugli infissi, sulle porte o sulle pareti, dotate di dispositivo di autoregolazione legato al differenziale di pressione che si crea sulla bocchetta e collegate ad elettroventilatori singoli o centralizzati);
- a semplice flusso igroregolabile (bocchette con sezione di passaggio dell'aria variabile in funzione dell'umidità relativa collocate sugli infissi, sulle porte o sulle pareti e collegate a elettroventilatori singoli o centralizzati);

a doppio flusso con recuperatore di calore statico (bocchette interne di immissione collegate ad una piccola unità di trattamento dell'aria con recuperatore di calore).

**Problematiche di progetto**

Occorre ridurre il fabbisogno di energia richiesta per i sistemi di ventilazione forzata, inserendo recuperatori di calore statici e sistemi di controllo e regolazione evoluti, capaci di adattare il carico alle effettive richieste

possibilmente adottando ventilatori a giri variabili dotati di inverter per la regolazione della portata. Occorre tenere presente le seguenti considerazioni:

- Flusso d'aria intermittente: impianti che funzionano in modo intermittente o ridotto in certi periodi della giornata, in relazione ai soli fabbisogni termici possono causare insufficiente ventilazione e difficoltà nella rimozione degli inquinanti. E' necessario per garantire il contenimento dei consumi energetici senza compromettere le condizioni di benessere un buon isolamento termico dell'edificio, una corretta regolazione dell'impianto, un controllo di temperatura ed umidità dell'ambiente come un numero corretto di ricambi d'aria.
- Distribuzione dell'aria: una regolazione impropria dell'impianto o difetti di progetto possono portare gli occupanti ad occludere le griglie di distribuzione, quando queste emettano aria troppo fredda o troppo calda. Da ciò ne consegue una ventilazione insufficiente, non solo nei locali interessati, ma in tutto l'edificio, in quanto viene modificata la circolazione generale dell'aria. Diventa quindi necessario un controllo periodico dell'efficienza dei termostati e dello stato di apertura delle griglie di distribuzione.
- Posizionamento delle griglie di presa e di scarico dell'aria all'esterno: sarebbero da evitare situazioni di corto circuito, anche parziale, tra l'aria viziata espulsa e l'aria fresca aspirata dall'esterno. È necessario inoltre verificare il posizionamento della griglia di presa che deve comunque essere installata il più lontano possibile da fonti esterne di inquinanti come scarichi di altri impianti, piano stradale, parcheggi, garages, depositi di rifiuti ecc..

#### Quantitativo di aria esterna

Per diluire ed eventualmente rimuovere gli inquinanti, occorre una quota di aria esterna che va comunque trattata termoigrometricamente. La limitazione d'apporto di aria esterna al di sotto delle raccomandazioni comporta problemi sulla qualità. Un approccio volto al risparmio energetico che assicuri contenimento dei consumi e qualità dell'aria, prevede l'impiego di scambiatori termici a flusso incrociato, che permettano di recuperare buona parte di calore dall'aria espulsa per trattare l'aria in ingresso.

#### Temporizzazione del funzionamento

Un impianto di ventilazione che funziona contemporaneamente all'arrivo degli occupanti e che viene spento al termine dell'orario di lavoro, può facilmente causare un aumento della concentrazione di inquinanti dovuti alle persone e alle strutture dell'edificio. Inoltre nei periodi di inattività degli uffici (ferie, fine settimana ecc.) è comunque presente un accumulo di inquinanti provenienti dalle strutture edili (materiali, rivestimenti, arredi, componenti impiantistiche etc.). Andrebbe quindi valutata la possibilità di accensione dell'impianto diverse ore prima dell'arrivo del personale ed il suo spegnimento con altrettanto ritardo a fine giornata, così come nei periodi di inattività, la possibilità di lasciarlo in funzione con portata ridotta al minimo.

#### Inquinamento acustico indoor indotto

L'impianto di ventilazione può indurre rumorosità dovuta al passaggio dell'aria dalle bocchette ma anche per trasmissione del rumore prodotto dai ventilatori attraverso le condotte. In fase di progettazione risulta necessario prendere le opportune precauzioni tecnologiche per contenere le emissioni acustiche negli ambienti ed all'esterno.



## *Problematiche di gestione dell'impianto di ventilazione*

### Manutenzione

La prima e più importante fonte inquinante per l'ambiente dell'edificio può essere il suo stesso impianto. I dispositivi di umidificazione e deumidificazione così come i filtri dovrebbero essere tenuti puliti e in certe situazioni completamente sostituiti, al fine di prevenire la crescita di colonie batteriche e muffe. La "sindrome dell'edificio malato" è strettamente connessa alla mancanza di ispezioni e controlli periodici sugli impianti di trattamento dell'aria e sui sistemi di filtrazione: i microrganismi possono facilmente essere veicolati nell'intero edificio, causando rischi gravissimi nel caso di specie particolarmente patogene (Legionella, Aspergillus ecc.).

Contenere e poter risolvere i problemi inerenti la qualità dell'aria interna implica

- operatività e manutenzione dell'impianto di condizionamento: l'impianto deve essere condotto secondo le specifiche di progetto. Manutenzione ed ispezione devono essere eseguite con regolarità, secondo le prescrizioni del costruttore;
- tenuta del registro di impianto: occorre prendere nota di tutti i problemi relativi all'impianto, degli interventi di routine e di quelli straordinari, nonché delle eventuali modifiche apportate;
- controllo degli inquinanti: identificazione delle fonti di inquinanti interni. Interventi di limitazione o di rimozione delle fonti. Ottimizzazione della ventilazione;
- controllo attività degli occupanti: divieto di fumare nelle aree inadeguate. Rimozione degli ostacoli davanti alle griglie di ripresa o di immissione;
- attività di manutenzione complessiva dell'edificio: aumentare la ventilazione durante le attività di manutenzione che comportino la diffusione di inquinanti, come verniciature, disinfestazioni ecc.;

programmare queste operazioni nei periodi di inattività lavorativa.

## **Scheda 4.13 Campi elettromagnetici interni a bassa frequenza (50 Herz)**

### **SPECIFICHE**

Categoria di requisito: **Campi elettromagnetici interni a bassa frequenza (50 Herz)**

### **Inquadramento della problematica**

Normalmente i campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (ELF) sono generati, oltre che dalle tensioni e dalle correnti dei sistemi di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia, anche dalle tensioni e dalle correnti da 10 fino a 20 Ampere che attraversano i circuiti elettrici presenti in ogni edificio (civile, commerciale, ospedaliero, scolastico, ecc.) e da tutti gli apparecchi ad essi collegati (220 volt di tensione di rete, con linee trifasi di 400 volt, frequenza di 50 Hz).

Il campo elettrico è presente quando abbiamo in linea solo la tensione e si misura in V/m (Volt per metro); il campo magnetico è presente quando in linea inseriamo anche un passaggio di corrente dato da un carico e si misura in T (Tesla) o suoi sottomultipli ( T = microTesla: 1 miliardesimo di Tesla).

Nel D.P.C.M. del 08-07-03 (elettrrodotti), art.1, comma 3 viene stabilito che "A tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella Raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999". Per quanto attiene alla frequenza industriale nominale (50Hz) i valori di riferimento di detta Raccomandazione per esposizione a campi elettrici e magnetici si basano su possibili effetti a breve termine.

Frequenza f	Intensità di campo elettrico E	Intensità di campo magnetico H	Densità di flusso B
50 Hz	5000 V/m	80 A/m	100 $\mu$ T

Tali limiti di esposizione sono in linea con quelli del D.P.C.M. del 23/04/1992 e, come tali, rappresentano l'unico riferimento legislativo nazionale presente in Italia per quanto riguarda l'esposizione ai campi in bassa frequenza.

Importante riferimento in materia sono i seguenti provvedimenti legislativi regionali che individuano le soglie applicabili in Regione Toscana:

LEGGE REGIONALE n 54 del 06/04/2000, "Disciplina in materia di impianti di radiocomunicazione".  
(Boll. n 17 del 17/04/2000, parte Prima , SEZIONE I )

DELIBERAZIONE C.R. n. 12 del 16 gennaio 2002, "Criteri generali per la localizzazione degli impianti e criteri inerenti l'identificazione delle aree sensibili ai sensi dell'art. 4, comma 1 della legge regionale 6 aprile 2000, n. 54 (Disciplina in materia di impianti di radiocomunicazione).  
(Boll. N. 7 del 13/02/2002, parte Prima, sezione I)

### **Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica**

Le linee di forza del campo elettrico hanno un principio e una fine e pertanto il campo può essere schermato tramite superfici metalliche o cavi schermati. Le linee di forza dei campi magnetici, invece, formano circuiti chiusi (ogni magnete possiede un polo positivo e uno negativo) e pertanto possono praticamente estendersi attraverso tutti i materiali. Una protezione dai campi magnetici si ottiene solo tramite l'interruzione o la

riduzione della corrente. Teoricamente sarebbe realizzabile anche la protezione per mezzo di un campo di compensazione, ma questa soluzione è molto onerosa.

## Campi elettrici

1. Sono una modificazione delle proprietà elettriche dello spazio dovuta alla presenza di cariche elettriche statiche, che costituiscono la sorgente del campo.
2. Sono prodotti dalla tensione  $V$ , che si misura in volt (V).
3. La loro intensità si misura in volt per metro (V/m).
4. Un campo elettrico può esistere anche quando l'apparecchio è spento.
5. L'intensità del campo diminuisce con la distanza dalla sorgente.
6. A frequenza di rete (50 Hz) è schermato dalle strutture murarie degli edifici e dalla vegetazione.

## Campi magnetici

1. Sono una modificazione delle proprietà magnetiche dello spazio prodotta da magneti naturali o correnti elettriche costanti nel tempo.
2. I campi magnetici sono generati dal flusso di corrente.
3. La loro intensità si misura in ampere per metro (A/m); di solito, chi si occupa di CEM utilizza in alternativa una grandezza correlata, la densità di flusso in microtesla ( $\mu T$ ) o in millitesla (mT).
4. I campi magnetici si generano non appena un apparecchio viene acceso e scorre la corrente.
5. L'intensità del campo diminuisce con la distanza dalla sorgente.
6. A frequenza di rete (50 Hz) non viene schermato dalla maggior parte dei materiali compreso le strutture murarie delle abitazioni.

I campi elettromagnetici generati da elettrodotti e cabine di trasformazione, pur essendo relativamente meno intensi di quelli prodotti dagli elettrodomestici, mantengono la loro azione su distanze dell'ordine di decine di metri e pertanto interessano le abitazioni costruite sotto o in prossimità degli stessi.

## Livelli tipici di campo magnetico ed elettrico generati da alcuni elettrodomestici a varie distanze

- Le misure delle distanze indicate sono state ricavate da una media su impianti ed apparecchiature di qualità medio alta. In talune situazioni o con apparecchiature di cattiva qualità si sono riscontrate misurazioni nettamente più elevate. Non si può quindi generalizzare ed è sempre consigliabile richiedere una misurazione ambientale personalizzata.
- Le misure delle distanze indicate sono valide solamente per individui adulti. Queste distanze vanno aumentate di almeno il 50% se riferite alle donne in stato di gravidanza, ai bambini e ai portatori di pace-maker. E' provato infatti dalla Scienza Medica che gli organismi a rapido sviluppo cellulare (in particolar modo il feto) sono molto più sensibili. Durante la scissione delle cellule, infatti, la presenza di campi elettromagnetici può influenzare la membrana cellulare e il DNA provocando la nascita di cellule alterate.

- Uno dei fattori determinanti del pericolo elettromagnetico è il tempo di esposizione. Per locali a lunga permanenza (ufficio, letto, salone, etc.) è il parametro più importante da considerare. Le camere dei bambini sono le più importanti da proteggere in quanto alcuni effetti dei campi elettromagnetici si manifestano anche dopo anni.

Fonte: Ufficio Federale per la Sicurezza delle Radiazioni, Germania 1999  
(in grassetto viene indicata la distanza tipica di funzionamento)

Apparecchio elettrico	Campo magnetico a 3 cm di distanza ( $\mu\text{T}$ )	Campo magnetico a 30 cm di distanza ( $\mu\text{T}$ )	Campo magnetico a 1 m di distanza ( $\mu\text{T}$ )	Campo elettrico a 30 cm di distanza (V/m)
Asciugacapelli	<b>6 – 2000</b>	0.01 – 7	0.01 – 0.03	80
Rasoio elettrico	<b>15 – 1500</b>	0.08 – 9	0.01 – 0.03	30
Aspirapolvere	200 – 800	<b>2 – 20</b>	0.13 – 2	50 (a 10 cm)
Lampada a fluorescenza	40 – 400	<b>0.5 – 2</b>	0.02 – 0.25	50 (a 50 cm)
Forno a microonde	73 – 200	<b>4 – 8</b>	0.25 – 0.6	---
Forno elettrico	1 – 50	<b>0.15 – 0.5</b>	0.01 – 0.04	8
Lavatrice	0.8 – 50	<b>0.15 – 3</b>	0.01 – 0.15	100 (sui comandi)
TV a colori	2.5 - 50	2	<b>0.01 – 0.15</b>	60
Ferro da stiro	8 – 30	<b>0.3</b>	0.01 – 0.03	60 (a 10 cm)
Lavastoviglie	3.5 – 20	<b>0.6 – 3</b>	0.07 – 0.3	---
Computer	0.5 – 30	<b>&lt;0.01</b>	---	15-25 (a 50 cm)
Cavo nella parete	---	<b>0.1</b>	---	10 (a 50 cm)
Interruttore	30 (a 10 cm)	---	---	50 (a 10 cm)
Lampadina (100W)	3	<b>0.5</b>	---	60 (a 10 cm) 5 (a 50 cm)

## Suggerimenti sul come conseguire gli obiettivi di progetto

Prima di qualunque intervento è indispensabile verificare i livelli di inquinamento elettrico e magnetico presenti, attraverso una serie opportuna di misure, allo scopo di individuare eventuali irraggiamenti provenienti dall'esterno. Quindi occorre un accurato lavoro preliminare di progettazione per stabilire, in base all'arredamento della casa, quali percorsi e quali zone occupare con le tubazioni dell'impianto elettrico, in maniera da evitare concentrazioni di linee vicino ai luoghi di riposo o soggiorno.

Negli edifici, la maggiore intensità dei campi magnetici ( $\mu\text{T}$ ) si registra in vicinanza degli elettrodomestici e dei cavi non appena vengono usati: essa dipende dalla distanza e dalla collocazione delle parti sotto tensione, da cui si dovrebbe osservare la distanza precauzionale di un metro, qualsiasi sia la parte sotto tensione. L'intensità di campo diminuisce rapidamente con la terza potenza della distanza.

Negli edifici, l'intensità dei campi elettrici ( $\text{V/m}$ ) può essere già sensibilmente ridotta tramite un'accurata messa a terra di tutti i circuiti e di tutti gli apparecchi elettrici, nonché con l'uso di interruttori a due poli. Dove non è possibile, o non sufficiente, l'osservanza delle distanze minime, il campo elettrico alternato può essere ridotto, con una spesa relativamente bassa, attraverso il disgiuntore automatico di rete, cavi e scatole dell'impianto schermati..

I cavi sotto l'intonaco vengono già discretamente schermati attraverso l'opera muraria, ciononostante, a 50 cm di distanza dal muro, vengono ancora misurate intensità di campo di circa 10  $\text{V/m}$ . Problematici sono i punti d'uscita dell'impianto, prese di corrente, prolunghe e i cavi d'allacciamento collegati. Di solito è vantaggioso mantenere i conduttori di un circuito il più possibilmente vicini l'uno all'altro o usare cavi coassiali. Intrecciando opportunamente i fili (cordatura), i campi magnetici alternati di entrambi i fili si riducono sensibilmente (circa il 40%).

Si può quindi ragionevolmente affermare che la migliore tecnica per minimizzare il campo magnetico è la stessa che la buona tecnica impiantistica suggerisce: una posa razionale dei fili curando che i conduttori di ritorno siano affiancati alle fasi di andata alla minima distanza possibile.

Gli interventi di schermatura da adottare a livello di unità abitativa si riferiscono al solo campo elettrico, in quanto il campo magnetico non è schermabile, quindi riguarda le scatole di derivazione ed i cavi.

Attualmente sono disponibili in commercio guaine schermate da posizionare sulla copertura (abbattimento del 70% dei campi elettromagnetici a radiofrequenza), tessuti metallizzati da applicare sotto intonaco o sul telaio delle finestre. Tuttavia uno degli elementi più importanti negli impianti elettrici è l'impianto di terra. Esso deve assolvere al duplice scopo di protezione contro i contatti indiretti e di veicolare all'esterno il campo elettrico "catturato" dalle nostre schermature.

La prima regola da osservare riguarda l'impianto interno agli edifici; per evitare possibili "ronzii" o fenomeni oscillatori, tutti gli schermi, sia la grafite delle scatole, sia le calze dei cavi schermati, non vanno MAI collegati al conduttore di protezione dell'impianto, ma devono avere un loro conduttore indipendente che li interconnetta sino al nodo equipotenziale e quindi sino al dispersore esterno. Meglio ancora sarebbe portare la linea di schermo direttamente all'esterno sino ad un proprio dispersore, il quale non dovrà essere interconnesso al dispersore della linea di protezione.

Porre molta cura nella realizzazione dei dispersori; è necessario raggiungere valori di resistenza molto bassi, dell'ordine di pochi  $\Omega$ . (Ohm), possibilmente meno di 10 tenendo presente che, con il passare del tempo, l'ossidazione porterà ad un innalzamento del valore e quindi ad un decadimento dell'impianto di terra.

Un buon sistema è il collegamento dell'impianto di terra alle strutture di ferro delle fondazioni che sono un ottimo dispersore, sia per le notevoli dimensioni che di solito hanno, sia perché, essendo immerse nel cemento, non sono sottoposte a processi di ossidazione e quindi non alterano il loro valore di resistenza nel tempo.

### **Regole fondamentali da seguire sempre a livello di unità abitativa per la minimizzazione dei campi elettrici e magnetici a bassa frequenza**

Fonte: *Impianti elettrici biocompatibili, Maurizio Cantelli*

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Quadro generale e i contatori all'esterno della casa, se possibile, oppure nella parete esterna rivolta a Sud</li> <li>2. Eventuali colonne montanti verso i piani superiori, come descritto al punto precedente</li> <li>3. Scegliere i percorsi delle tubazioni in modo da evitare di passare sotto letti o divani e, se possibile, con andamento sull'asse N/S</li> </ol>
Posizione	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Posa a "stella" o ad "albero", partendo da un'unica grande scatola centrale; se l'edificio è sviluppato in lunghezza sul piano orizzontale, eseguire la distribuzione a "lisca di pesce" concentrando le dorsali nei corridoi o in locali di solo transito</li> <li>5. Attenzione alla verticalità dell'impianto; un punto luce a soffitto potrebbe venire a trovarsi sotto ad un letto posto al piano superiore; se non è possibile evitare ciò, eseguire la linea dall'interruttore al punto luce in cavo schermato. E' comunque preferibile l'adozione di punti luce a parete.</li> <li>6. Polarizzare tutte le prese mettendo la fase in alto o in basso, ma sempre nella stessa posizione</li> </ol>
Apertura circuiti	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. Utilizzare interruttori di sezionamento manuali</li> <li>8. Collegare tutto l'impianto a valle di uno o più disgiuntori di rete</li> </ol>
Dimensionamento	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. Posare punti presa e punti luce in numero strettamente necessario</li> <li>10. Posa di tubazioni vuote per espansioni future</li> </ol>
Schermatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Utilizzo di vernice alla grafite per le scatole</li> <li>12. Infilaggio delle linee in normale filo unipolare previa cordatura (arrotolarli un poco fra di loro in modo da abbattere in parte il campo magnetico)</li> <li>13. Utilizzo di tubi e canalizzazioni metalliche per impianti a posa esterna; uso di guaina metallica a spirale flessibile ricoperta di gomma per posa ad incasso</li> <li>14. Collegare bene a terra tutte le masse metalliche presenti nella casa, tubi di acqua, gas</li> </ol>

	15. Passare le linee che alimentano i carichi costanti lontano dalle zone letto, preferibilmente eseguite in cavo schermato
Verifica	16. Misure di campo elettrico e magnetico per frequenze basse (ELF) e alte (MO e RF) 17. Misure di accoppiamento capacitativo

## Approfondimento della problematica

### Riferimenti normativi:

**Legge 22 febbraio del 2001, n. 36** “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” (G.U. Serie Generale, n. 55 del 7 marzo 2001)

*Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”* (G.U. Serie Generale, n. 200 del 28 agosto 2003)

### Sinergie con altri requisiti:

Scheda 1.4 - Inquinamento elettromagnetico a bassa frequenza

(Per la definizione delle fasce di rispetto da elettrodotti e cabine di trasformazione)

Scheda 1.5 - Inquinamento elettromagnetico ad alta frequenza

Scheda 4.11 - Qualità dell'aria – Controllo degli agenti inquinanti - Radon