

EFFICIENZA ENERGETICA E TUTELA DELLA SALUTE IN CASA

LE MISURE ENERGETICHE NEGLI EDIFICI: I VANTAGGI DELLA VENTILAZIONE NATURALE NELLA FASE DI PROGETTO PER LA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA, IL RISPARMIO SUI COSTI, LA SOSTENIBILITÀ E L'IMPATTO SULLA SALUTE

a cura dell'Associazione Nazionale "Donne Geometra – Esperti Edificio Salubre – Gas Radon" del Consiglio Nazionale dei Geometri e Geometri Laureati



INDICE

Premessa	2
La qualità indoor e il suo impatto sulla salute nella definizione dei nuovi requisiti igienico-sanitari di carattere prestazionale degli edifici	2
Il comfort termo-igrometrico negli edifici e l'equazione del benessere di Fanger	4
Le concentrazioni inquinanti e le strategie progettuali per ventilare gli edifici e ridurre i fattori di rischio per la salute	7
La ventilazione naturale	10
Vantaggi e limiti della ventilazione naturale	12
Considerazioni sulla progettazione della ventilazione naturale	12
Conclusioni	12

Premessa

L'**edilizia** è un settore che contribuisce significativamente alla **salute della popolazione**, alla **qualità di vita** e all'**economia** ma anche al **cambiamento climatico**. Attualmente gli edifici sono responsabili del **39% delle emissioni globali di carbonio**: il 28% è dovuto all'energia necessaria per riscaldarli, raffreddarli e alimentarli, e il restante 11% ai materiali da costruzione. Si prevede che verso la metà del secolo, quando la popolazione mondiale toccherà i **10 miliardi**, il patrimonio edilizio globale raddoppierà di dimensioni, pertanto **entro il 2050**, i nuovi edifici, le infrastrutture e le ristrutturazioni dovranno avere **zero emissioni di carbonio**¹: un obiettivo che si può perseguire solo **promuovendo l'efficienza energetica e migliorando gli standard prestazionali delle costruzioni**, concentrandoci maggiormente sul **corretto impiego dell'energia solare** per il comfort termico e l'illuminazione, ottimizzando lo sfruttamento della **ventilazione** e della **luce naturale**, individuate anche come risorse e fattori determinanti per la **salute degli occupanti**.

La ventilazione è un aspetto critico per l'efficientamento energetico e la qualità dell'aria indoor, come evidenziato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità¹. Anche il **Piano Nazionale della Prevenzione 2020-2025**² pone al centro la persona e il suo diritto ad una adeguata qualità dell'aria e microclima negli ambienti indoor, siano essi frequentati dai bambini o luoghi di lavoro. Lo stesso indirizzo è osservato nello schema dei **requisiti igienico-sanitari di carattere prestazionale degli edifici**³, la cui sussistenza dev'essere attestata da un **progettista abilitato** al momento della presentazione della domanda per il rilascio del **permesso di costruire**, inviato dal Ministero della Salute alla conferenza Stato-Regioni.

Per accelerare il **processo di tutela della salute delle persone**, è stato disposto con il **Decreto Infrastrutture**⁴ un fondo con una dotazione di **10 milioni di euro** per ciascuno degli anni dal 2023 al 2031, che servirà a finanziare interventi di **riduzione e prevenzione del radon indoor** e per sinergici interventi di **efficientamento energetico**. Questa prospettiva considera la **costruzione di edifici resilienti** che promuovano la salute e il benessere degli occupanti, siano sostenibili e riducano l'inquinamento, al fine di creare **ambienti interni confortevoli, sicuri e salubri**, oltre che di ridurre i costi energetici e di manutenzione. Ciò può essere ottenuto attraverso una **progettazione oculata** e l'impiego di **tecnologie avanzate**.

La qualità indoor e il suo impatto sulla salute nella definizione dei nuovi requisiti igienico-sanitari di carattere prestazionale degli edifici

L'efficienza energetica può avere un impatto significativo sulla salute e il benessere degli occupanti degli edifici. La prima dimostrazione storica di questa relazione si ha con la **guerra del Kippur** del 1973 e con l'embargo energetico dei paesi produttori di petrolio, che spinsero la società occidentale ad una riduzione dei consumi petroliferi che comprendeva anche la sigillatura degli ambienti confinati. Qualche anno dopo, nel 1983, l'OMS riconosce come sindrome dell'edificio malato (SBS) un quadro clinico precedentemente ignoto, che deriva dall'esposizione a componenti indoor e che non si è ridotto negli ultimi decenni. Le attuali contingenze climatiche si sono sommate a quelle economiche, amplificando la problematica del costruire sano e sostenibile per il pianeta.

1 - (Rapporto Housing impacts health: New WHO Guidelines on Housing and Health del 2018).

2 - Il Piano Nazionale della Prevenzione 2020-2025 adottato il 6 agosto 2020 con Intesa in Conferenza Stato-Regioni è lo strumento fondamentale di pianificazione centrale degli interventi di prevenzione e promozione della salute, per garantire sia la salute individuale e collettiva sia la sostenibilità del Servizio sanitario nazionale, attraverso azioni quanto più possibile basate su evidenze di efficacia, equità e sostenibilità che accompagnano il cittadino in tutte le fasi della vita, nei luoghi in cui vive e lavora.

3 - Presidenza del Consiglio dei Ministri DAR 0008164 A-4.37.2.10 del 23/03/2023.

4 - Consiglio dei Ministri seduta n.38 dell'8 Giugno 2023 - art.8.

L'**Organizzazione Mondiale della Sanità** definisce la **salute** non come l'assenza di malattie, ma come "uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale"⁵: la salute non è, quindi, una semplice questione di **accesso alle cure mediche**, ma è anche determinata dalla **qualità del nostro ambiente costruito**. La tripla linea per realizzare un edificio ben progettato è stata recepita nello **schema del Regolamento previsto dal Decreto Scia 2** recante la definizione dei **requisiti igienico-sanitari di carattere prestazionale degli edifici ai sensi dell'articolo 20, comma I-bis, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380⁶**, che nei "**requisiti dimensionali degli spazi di vita**" (art.7), al comma 1 statuisce appunto che la **pianificazione progettuale degli immobili deve garantire il completo benessere fisico, psichico e sociale degli occupanti**.

Molti studi hanno sottolineato l'aumento dell'accumulo di **inquinanti atmosferici** nell'ambiente interno dopo la ristrutturazione energetica, dove le persone trascorrono la maggior parte del loro tempo (circa il 90%)⁷. Gli spazi costruiti, infatti, influenzano emozioni e capacità intellettuali e quindi il **comfort**, ovvero la "condizione della mente che esprime soddisfazione" e che incorpora sia considerazioni psicologiche qualitative, che parametri fisici quantitativi (ad es. temperatura, movimento dell'aria). Al contrario, l'**inquinamento indoor** si associa a **malattie** spesso invalidanti, devianza sociale, peggioramento del rendimento scolastico e ridotta produttività: una evidenza interessante è quella del **percorso scolastico⁸** degli studenti, che nel corso della loro formazione passano dalle scuole elementari, alle medie e alle superiori: il trasferimento ad una scuola in condizioni peggiori da punto di vista abitativo **riduceva la performance** scolastica misurata sui voti, sulle assenze e su un provvedimento disciplinare come la sospensione.

I meccanismi attraverso cui una inadeguata e malsana aria indoor induce i peggioramenti di cui sopra sono l'infiammazione delle vie aeree, irritazione degli occhi e danni alle vie respiratorie, condizione esacerbata da condizioni favorevoli quali asma o carenze immunitarie: gli esiti di questa condizione sono **un'ampia gamma di patologie**, tra cui insufficienza respiratoria, neoplasie polmonari, malattie cardiovascolari, sindrome da apnee ostruttive del sonno, morti premature. Le concentrazioni indoor dei maggiori inquinanti sono generalmente da 1 a 5 volte maggiori, ma l'impatto sulla salute umana è da 10 a 50 volte superiore all'esposizione outdoor, visto che il 90% del tempo è trascorso in ambienti confinati. In altre ricerche è stato osservato anche un accrescimento significativo del livello di radon⁹, benzene, toluene, etilbenzene, xilene, formaldeide¹⁰ dopo i lavori di efficientamento energetico, ragion per cui le soluzioni per minimizzare i consumi energetici per la climatizzazione invernale e per il raffrescamento estivo vanno valutati congiuntamente a tutti i requisiti di comfort e benessere dell'utenza.

5 - Costituzione adottata dalla Conferenza internazionale sulla salute tenutasi a New York il 19 giugno al 22 luglio 1946.

6 - Presidenza del Consiglio dei Ministri DAR 0008164 A-4.37.2.10 del 23/03/2023.

7 - (Sabine Brasche, Wolfgang Bischof - 2005).

8 - Jennifer A. Heissel, Claudia Persico e David Simon, dell'American University di Washington.

9 - Il radon è un gas radioattivo naturale che si forma dal decadimento dell'uranio e del radio presenti nel suolo e nei materiali da costruzione. Rappresenta la seconda causa di morte per il cancro del polmone, dopo il fumo di sigaretta.

10 - La formaldeide è considerata uno degli inquinanti più pericolosi tra quelli indoor. È classificata dalla IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) come sostanza cancerogena di tipo 1. La Commissione europea con il Regolamento 2023/1464, pubblicato il 14 luglio 2023, fissa a 0,062 milligrammi per metro cubo il limite per l'emissione di questa sostanza negli ambienti chiusi dimezzando il limite indicato a suo tempo dall'Organizzazione mondiale della sanità (0,124 mg/m³), su cui si basa la nota e consolidata classificazione E1, fino a oggi lo standard riconosciuto e adottato legalmente da molti Paesi europei, Italia compresa. La formaldeide ha proprietà cancerogene e mutagene. Viene utilizzata nella produzione di molti materiali/prodotti per l'edilizia: resine, schiume, fibre vetrose sintetiche, termoplastici e altri prodotti chimici, impiegati a loro volta nella produzione di legno trattato, che sono le principali fonti di esposizione alle emissioni di formaldeide nell'aria per i consumatori. Le imprese del settore avranno tre anni per adeguarsi, tempo necessario affinché l'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA) definisca, con il coinvolgimento delle associazioni e delle realtà europee coinvolte, le linee guida circa i metodi di prova.

Informata di questi problemi l'Unione Europea, in una recente **direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 Maggio 2018**, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica dell'edificio e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, ha sottolineato la necessità di calcolare la prestazione energetica degli edifici tenendo conto non soltanto delle particolarità termiche, ma anche dei **diversi fattori coinvolti nella definizione della qualità dell'aria indoor**. Tuttavia, le norme internazionali sul risparmio energetico regolamentano la ventilazione meccanica controllata, ma **non incentivano l'utilizzo di sistemi di ventilazione passiva**, che pure garantisce un adeguato ricambio d'aria e mantiene la qualità dell'aria indoor. Questo intervento si attua **migliorando la ventilazione**, scegliendo **materiali di costruzione che non rilasciano sostanze pericolose**, incrementando i **ricambi dell'aria** e il **controllo dell'umidità relativa**.

Gli **isolanti vegetali** possono essere una soluzione sostenibile e sicura, e tra questi annoveriamo la fibra di legno, la fibra di legno mineralizzato, la fibra di cellulosa, la fibra di canapa, la fibra di lino, il sughero: non presentano componenti di origine sintetica e petrolchimica, sono materiali sani, biodegradabili e riciclabili, non emettono sostanze nocive per l'ambiente e la salute umana, consentono un notevole risparmio energetico grazie al loro elevato potere isolante. Occorre dire che l'utilizzo di isolanti edili vegetali comporta **costi maggiori rispetto ai materiali tradizionali**, ma il loro impiego rappresenta un **investimento importante per la riduzione dell'impatto ambientale**, per la salute degli abitanti e per la **qualità del costruito**.

In generale, **la salute e il benessere degli occupanti devono essere considerati prioritari rispetto al risparmio economico**, perché solo in un ambiente confinato sano e sicuro si può essere realmente produttivi e felici, con una riduzione delle malattie e della spesa sanitaria pubblica. In ogni caso, non esistono soluzioni univoche per garantire l'efficienza energetica e la qualità dell'aria indoor degli edifici residenziali e non residenziali, ma è possibile trovare soluzioni *ad hoc* in base alle specifiche esigenze dell'edificio e delle persone che ci lavorano o lo abitano.

Il comfort termo-igrometrico negli edifici e l'equazione del benessere di Fanger

Un adeguato **comfort termo-igrometrico** si basa su un **sistema di climatizzazione e ventilazione** in grado di controllare la temperatura e l'umidità, la ventilazione (naturale o meccanica), l'isolamento termico, il controllo dell'esposizione alla luce solare; le **differenze tra gli individui** (età, sesso, attività e salute) e le loro **preferenze** (anche di abbigliamento) sono un fattore imprescindibile in questa valutazione.

Nel tentativo di dare una **lettura scientifica** di questi interventi, **Povl Ole Fanger**¹¹ ha introdotto l'equazione che porta il suo nome: un **modello matematico** che descrive la **percezione di comfort termico di un individuo in uno spazio controllato**. Sono **fattori di questa equazione** la temperatura dell'ambiente, l'umidità, la velocità dell'aria, l'attività fisica dell'individuo, l'abbigliamento indossato e la temperatura media radiante. **L'equazione del benessere di Fanger** è utilizzata in ambito ingegneristico per progettare sistemi di condizionamento dell'aria e in ambito medico per lo studio del comfort termico e della fisiologia umana, dove PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) sono due indici utilizzati per valutare il benessere termico degli ambienti indoor.

Il **PMV** indica la "valutazione media prevista" della sensazione termica di un gruppo di persone in una determinata condizione ambientale. Si basa su fattori come la temperatura dell'aria, la velocità dell'aria, l'umidità relativa e l'abbigliamento delle persone. L'indice varia da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e un valore di 0 indica un ambiente termicamente neutro.

¹¹ - Esperto nel campo del comfort termico e della percezione degli ambienti interni. È stato professore senior presso il Centro internazionale per l'ambiente e l'energia interni presso l'Università tecnica della Danimarca.

Il **PPD** è la "percentuale prevista di insoddisfatti" rispetto alla sensazione termica degli occupanti dell'ambiente. Indica la probabilità che una persona si senta insoddisfatta della sua sensazione termica, sulla base delle stesse variabili considerate per il PMV. Un valore del 10% indica che il 10% delle persone potrebbe essere insoddisfatto della sensazione termica. Anche nei modelli ideali, occorre dire, non si scende mai sotto il 5% di soggetti insoddisfatti.

Numericamente, l'equazione di Fanger è la seguente:

$$PMV = 0,303e^{-0,036M} + 0,028[(M - W) - I - 0,3E] - 0,042[(M - W) - I - 0,3E]^2 - 0,0032[(M - W) - I - 0,3E]^3 + 0,003[(M - W) - I - 0,3E]^4$$

dove:

PMV individua il valore di percezione del comfort termico, che varia da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo);

M indica il metabolismo dell'individuo, espresso in watt per metro quadro di superficie corporea;

W rappresenta il flusso di calore per conduzione attraverso la superficie corporea, espresso in watt per metro quadro;

I è il flusso di calore per irraggiamento, espresso in watt per metro quadro;

E caratterizza il flusso di calore per evapotraspirazione, espresso in watt per metro quadro.

Dal punto di vista **normativo**, ASHRAE¹² definisce il comfort termico come "quella condizione che esprime soddisfazione per l'ambiente termico", utilizzato principalmente negli Stati Uniti e ben noto in tutto il mondo come standard per la progettazione, la messa in servizio e il collaudo di spazi e sistemi interni scritti in parallelo con altri noti standard internazionali come **ISO 7730**. La **zona di comfort** è considerata sufficientemente confortevole se soddisfa almeno **l'80% degli occupanti**.

Le tre categorie di qualità degli edifici identificate dalla norma UNI EN ISO 7730 sono:

- **Categoria A:** edifici che offrono massimo comfort termico, ovvero offrono un ambiente confortevole per il 95% degli occupanti, durante almeno il 98% dell'anno.
- **Categoria B:** edifici che offrono buon comfort termico, ovvero offrono un ambiente confortevole per l'80% degli occupanti durante almeno il 98% dell'anno.
- **Categoria C:** edifici che offrono un comfort termico accettabile, ovvero offrono un ambiente confortevole per il 60% degli occupanti durante almeno il 98% dell'anno.

La norma UNI EN ISO 7730 stabilisce che, durante la fase di progetto, l'obiettivo della **progettazione termica** dovrebbe essere quello di raggiungere una categoria A o almeno una categoria B; tuttavia, in alcuni casi specifici, la categoria C potrebbe essere sufficiente. In ogni caso, la scelta della categoria di qualità degli edifici dipende dalle **esigenze degli occupanti** e dalle **condizioni ambientali locali**. In generale, per ottenere un ambiente confortevole, si consiglia che:

- la **temperatura** dell'aria sia compresa tra i 20°C e i 24°C, con una variazione massima di +/- 2°C rispetto alla temperatura media di riferimento;
- la **velocità dell'aria** sia inferiore a 0,25 m/s per gli ambienti occupati in modo sedentario e inferiore a 0,15 m/s per gli ambienti occupati in modo attivo;
- l'**umidità** relativa dell'aria sia tra il 40% e il 60%, con una variazione massima di +/- 10% rispetto alla media.

12 - ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) è un'organizzazione professionale focalizzata sul progresso dei sistemi e della tecnologia di riscaldamento, ventilazione, condizionamento e refrigerazione. È stata fondata nel 1894 e conta oltre 56.000 membri in tutto il mondo, fornisce risorse tecniche, standard e linee guida per aiutare i professionisti delle costruzioni a progettare e gestire edifici efficienti e sostenibili. Promuove inoltre la ricerca sulla qualità dell'ambiente interno e sull'efficienza energetica.

Al di sotto del 40% di umidità relativa l'aria diventa secca, disidratando le mucose e creando microlesioni dove batteri e virus trovano un ambiente favorevole alla penetrazione e diffusione, mentre al di sopra del 70% si può formare condensa sulle parti più fredde dell'edificio (dove l'umidità relativa può raggiungere il 100%) e possono proliferare le muffe.

Anche il **sonno** è influenzato dalla temperatura ambientale: i valori suggeriti per i giovani (21-25 anni) sono 20,3 C° e 56% di umidità in inverno e 26,1 C° con il 52% di umidità in estate¹³. In generale, comunque, la temperatura è il fattore principale che influenza il sonno, mentre l'umidità relativa ha effetti complessivamente insignificanti.

Bisogna ricordare che, nonostante l'aria più calda possa contenere una maggiore quantità di vapore acqueo, è anche vero che **maggiore è la temperatura, minore è il tasso dell'umidità in casa che riusciamo a sostenere**. Ad esempio, se con 18°C in ambiente possiamo ben sopportare un livello di umidità che varia dal 40% all'80%, con 26°C già il 50% di tasso di umidità è troppo alto, come si vede dalla tabella "A" dell'Enea, che indica i valori di umidità ideale a seconda della temperatura. È importante sottolineare che **questi valori sono solo indicativi**, e che le condizioni di benessere termo-igrometrico possono variare a seconda dei contesti e delle esigenze degli individui.

TABELLA "A" - Il tasso di umidità ideale

La tabella indica il tasso di umidità in relazione alla temperatura registrata all'interno di un'abitazione. minore è la temperatura, maggiore è il tasso di umidità tollerabile (fonte: Organizzazione Mondiale della Sanità).

		UMIDITÀ											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
TEMPERATURA	26°C	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
	24°C	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
	22°C	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
	20°C	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
	18°C	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹

Con una temperatura interna di 19°C, il tasso di umidità deve essere compreso tra il 40% e il 70%!

FONTE: Enea - "Indicazioni essenziali per una corretta impostazione degli impianti di riscaldamento a gas - Articolo 1, Commi 8 e 9, Decreto MITE n. 383 del 6 Ottobre 2022. Vademecum per il cittadino"

Come indicato dall'OMS nelle **Linee guida per la qualità dell'aria interna**¹⁴, l'esposizione alle muffe e/o umidità domestica si associa alla maggiore prevalenza di sintomi respiratori, asma e danni funzionali respiratori; possono inoltre deteriorare gli edifici e le strutture interne: in breve tempo, determinano notevoli danni all'immobile, causando anche una perdita di valore dello stesso, esponendo perfino i proprietari e/o gli esercenti di qualsiasi luogo di lavoro al risarcimento del danno alla salute.

Lo **schema del Regolamento** previsto dal **Decreto Scia 2**, approvato in conferenza unificata Stato-Regioni per l'acquisizione della preventiva intesa, recante la definizione dei requisiti igienico-sanitari di carattere prestazionale degli edifici ai sensi dell'articolo 20, comma I-bis, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 (che si applicheranno solo ai progetti con titolo edilizio rilasciato in data successiva all'entrata in vigore dell'emanando decreto da parte del Ministero della Salute), dimostra il cambio di rotta nella progettazione degli edifici, perseguendo nuovi obiettivi specifici: tutelare e garantire al meglio la sicurezza e al salute, la qualità dell'aria indoor e il benessere psico-fisico degli occupanti; conferma di tutto ciò si trova all'art. 8 (comfort termo-igrometrico) che alla Tabella "1" riporta i seguenti parametri:

13 - Studio parametrico sull'ambiente termico del sonno Ting Cao, Zhiwei Lian, Jingwen Zhu, Xinbo Xu, Heng Du & Qiantao Zhao Simulazione di edifici volume 15, pages885–898 (2022).

14 - Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per la protezione della salute pubblica dai rischi per la salute dovuti all'umidità, alla crescita microbica associata e alla contaminazione degli spazi interni si basano su una revisione completa e una valutazione delle prove scientifiche accumulate da un gruppo multidisciplinare di esperti che studiano gli effetti sulla salute degli inquinanti atmosferici interni e quelli specializzati nell'identificazione dei fattori che contribuiscono alla crescita microbica in ambienti chiusi.

TABELLA "1" Parametri Comfort termo-igrometrico

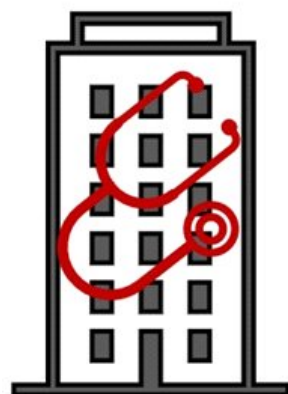
Parametri	Estate	Inverno
Temperatura operativa	Ottimo (classe A)*: 24° +1°C Buono (classe B) *: 24°+2°C	Ottimo (classe A) *: 22° +1°C Buono (classe B) *: 20° +2°C
Velocità dell'aria	Ottimo (classe A)*: <0,12 m/s Buono (classe B)*: <0,19 m/s	Ottimo (classe A)*: <0,1 m/s Buono (classe B)*: <0,16 m/s
Umidità relativa	50% <UR <60%	40% <UR <50%

*Ottimo equivale alla Classe A e Buono alla Classe B della UNI EN ISO 7730:2006

Le concentrazioni inquinanti e le strategie progettuali per ventilare gli edifici e ridurre i fattori di rischio per la salute

I **fattori** che influiscono sulla salute e sullo stato fisico-psichico-sociale delle persone sono molti: dall'acustica, all'illuminazione, alla presenza di materiali edili nocivi, al gas radon, la ventilazione, il colore e le abitudini di vita; ciascuno di essi può dare luogo ad ambienti insalubri e pregiudizievoli per la salute, influenzando la serenità della persona nella vivibilità degli spazi di vita, "determinando una significativa lesione degli interessi della persona umana costituzionalmente garantiti, ed in particolare del diritto all'abitazione, ma anche alla salute"¹⁵, come recepito nei provvedimenti giudiziari e nelle sentenze emesse dai tribunali in merito a specifici casi concreti sulla salubrità degli edifici.

FIGURA 1 - Le principali fonti inquinanti indoor



1. Materiali da costruzione: vernici, pitture, colle, isolanti, rivestimenti, ecc.
2. Radon
3. Amianto
4. Piombo
5. COV: benzene, formaldeide, toluene, xilene, ecc.
6. Campi elettromagnetici
7. Rumore
8. Illuminazione
9. Muffa, umidità
10. Abitudini di vita

I **principali inquinanti indoor** sono classificati dall'OMS (WHO, 2010¹⁶) in:

- fisici
- chimici
- biologici

per lo più correlati ai materiali da costruzione, al suolo, alle abitudini delle persone, alla destinazione d'uso dei locali, alla ventilazione, alle tecniche costruttive, come riportati nella tabella "A".

15 - Sentenza n. 2680 del 23 giugno 2015.

16 - WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants: linee guida dell'OMS rivolte ai professionisti della sanità pubblica coinvolti nella prevenzione dei rischi per la salute delle esposizioni ambientali, nonché agli specialisti e alle autorità coinvolte nella progettazione e nell'uso di edifici, materiali e prodotti interni.

TABELLA "A" - Elenco dei principali contaminanti indoor

Inquinante	Classificazione	Sorgente
Particolato atmosferico (PM)	Fisico	Combustioni (biomasse per il riscaldamento e cucina), prodotti per la pulizia, dispositivi elettronici (pc, stampanti), fumo, particolato secondario da decomposizione di amianto e fibre artificiali vetrose
Fibre di amianto e fibre artificiali vetrose ^{17 18}	Fisico	Materiali da costruzione, decorativi, e isolanti (termici e acustici)
Radon	Fisico	Decadimento radioattivo (Suolo, rocce, materiali da costruzione, acqua)
Ossidi di azoto (Nox)	Chimico	Combustioni
Monossido di Carbonio (CO)	Chimico	Combustioni incomplete, fumo
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	Chimico	Combustioni, fumo
Benzene (C ₆ H ₆)	Chimico	Materiali da costruzione e decorazione (vernici); mobili (PVC, pavimenti in gomma, tappeti in nylon); apparecchiature elettroniche (stampanti, pc). Picchi di concentrazioni osservati in nuovi edifici e ristrutturazioni
Formaldeide (CH ₂ O)	Chimico	Materiali da costruzione, decorazione e isolanti (vernici, truciolati, compensati, legni trattati, materiali da costruzione, schiume sigillanti, adesivi colle, ecc); apparecchiature elettroniche (stampanti, toner, ecc), cosmetici, pesticidi, prodotti per la pulizia, fumo
Naftalene	Chimico	Plastificanti e resine sintetiche; fumo
Muffe, pollini, virus e batteri	Biologico	Ventilazione, condense, impianti di condizionamento e ventilazione meccanica controllata (VCM), umidità

Per la **riduzione dei livelli di inquinamento**, al fine di garantire una buona qualità dell'aria, il Regolamento ha individuato una serie di **condizioni da considerare nella progettazione, costruzione e manutenzione degli edifici** quali l'uso di materiali con basso potenziale emissivo di composti organici volatili (COV) e degli altri inquinanti chimici, la dichiarazione di conformità dei materiali utilizzati, la relazione tecnica in merito alle soluzioni progettuali adottate per il confinamento delle fibre vetrose in ambienti chiusi.

La progettazione, quindi, deve essere studiata in maniera tale da garantire in tutti i locali una **concentrazione di inquinanti indoor** - inclusi COV (es. benzene, formaldeide, tricloroetilene, tetrafluoroetilene, etc.), IPA (es. benzo(a)pirene) - **minore o uguale ai valori guida indicati nelle linee guida dell'OMS**.

17 - Sulla base principalmente di studi sperimentali, peraltro condotti mediante impianto del materiale nell'organismo degli animali da laboratorio, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha classificato nel 1987 i materiali lana di vetro, lana di roccia, lana di scoria e fibre ceramiche quali "agenti potenzialmente cancerogeni per l'uomo", allocati nella categoria "2B" secondo i criteri stabiliti dalla International Agency for Research on Cancer di Lione. Successivi studi sia sperimentali, che epidemiologici attuati in popolazioni professionalmente esposte, hanno portato ad una rivalutazione della classificazione adottata dall'Unione Europea: per la "lana di roccia/scoria, produzione" è prevista etichettatura di pericolosità quale "T, R49" (tossico, cancerogeno per inalazione), mentre per la "lana di vetro, produzione" è prevista etichettatura di pericolosità quale "Xn, R40" (nocivo, possibilità di effetti irreversibili). Fonte: ACCORDO 27 settembre 2001 in G.U. 27.11.2001 n.276 pag.34, tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati».

18 - Public Health Statement - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). L'Agenzia per le sostanze tossiche e il registro delle malattie (ATSDR), un'agenzia federale di sanità pubblica del Dipartimento della salute e dei servizi umani degli Stati Uniti. ATSDR protegge le comunità dagli effetti nocivi sulla salute legati all'esposizione a sostanze pericolose naturali e artificiali.

In merito alle **prestazioni sanitarie**, la ventilazione deve seguire alcune regole:

- a. adeguata progettazione dei locali per garantire la ventilazione naturale (UNI EN 16798-1:2019);
- b. ventilazione meccanica controllata solo quando, negli interventi di recupero edilizio, le caratteristiche tipologiche degli alloggi diano luogo a condizioni che non consentano di fruire di ventilazione naturale adeguata, immettendo aria opportunamente captata e con requisiti igienico-sanitari confacenti;
- c. uso di sistemi di VMC regolabili, al fine di bilanciare le condizioni di comfort e la qualità dell'aria indoor rispetto al numero degli occupanti e/o alle attività non lavorative che vi siano eventualmente svolte;
- d. adozione di idonei sistemi di condizionamento e filtrazione per la limitazione della dispersione termica, del rumore, dello spreco di energia, dell'ingresso dall'esterno di agenti inquinanti (ad es. polveri, COV, pollini, insetti, ecc.) e di aria calda nei mesi estivi;
- e. progettazione dei locali in maniera tale da garantire, in tutti i locali, una concentrazione di inquinanti indoor, inclusi COV (es. benzene, formaldeide, tricloroetilene, tetracloroetene, etc.), idrocarburi policiclici aromatici (IPA, ad es. benzo(a)pirene), minore o uguale ai valori guida indicati nelle linee guida dell'OMS .

Per il raggiungimento degli obiettivi sanitari sono predisposti specifici **strumenti di verifica**:

- a) relazione tecnica sulle prestazioni di ventilazione conseguite con rappresentazione grafica rispetto ai locali abitativi, dimostrando l'utilizzo di idonee strategie progettuali atte a garantire un'ideale ventilazione naturale (es.: ventilazione trasversale od obliqua per ogni singolo alloggio);
 - a. relazione tecnica sulle caratteristiche dell'impianto, comprensiva del numero di ricambi d'aria garantiti, ove presente;
 - b. relazione tecnica recante l'insieme di accorgimenti tecnico progettuali adottati per ridurre o impedire la migrazione di radon nell'edificio, ai sensi della normativa vigente ;
 - c. certificazione di eventuali prodotti utilizzati in corrispondenza delle aperture dell'edificio (es. guaine e/o sigillanti) per ridurre l'ingresso di inquinanti;
 - d. al completamento dei lavori, relazione tecnica sulle campagne di misura della concentrazione di inquinanti all'interno degli edifici;
 - e. relazione tecnica sulle misure adottate per impedire (o eliminare) la formazione di ponti termici, l'ingresso di acqua per risalita, l'infiltrazione o per impedire la sua formazione per condensazione del vapore.

Inoltre, negli **edifici** la ventilazione naturale e i sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) devono soddisfare i seguenti obiettivi:

- a. devono essere garantiti valori di ventilazione compresi tra i 10 e i 4 L/s per persona (UNI EN 16798-1:2019) tenendo conto di quanto previsto dalle norme in tema di efficientamento energetico degli edifici;
- b. devono essere individuate soluzioni tecniche e localizzative per l'installazione degli impianti e dei condotti che minimizzino il disturbo per i residenti e l'impatto visivo, tenendo conto che tutti i condotti per il convogliamento di vapori, fumi o altre emissioni in atmosfera dovranno rispettare le norme contenute nei Regolamenti locali di igiene o la norma UNI 7129:2008;
- c. deve essere assicurata l'aspirazione di fumi, vapori ed esalazioni nei punti di produzione (cucine, bagni, ecc.) prima che si diffondano, secondo i Regolamenti locali di igiene o la norma UNI 7129:2008.

19 - WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants (2010).

Nelle **nuove costruzioni**, inoltre, devono essere adottate strategie progettuali e tecniche costruttive atte a ridurre il più possibile la **migrazione di radon negli ambienti confinati** (es: vespai areati, pressurizzazione dei locali, etc.), ai sensi di quanto previsto dal decreto legislativo 101/2020 e s.m.i.

La ventilazione naturale

Il legislatore ha posto una particolare attenzione agli **ambienti chiusi alla ventilazione naturale**, da privilegiare in fase di progettazione ottenendo il massimo rendimento dai **movimenti naturali dell'aria**, e massimizzando lo **sfruttamento della radiazione solare**: una soluzione che consente di **risparmiare fino al 50% dell'energia impiegata per la somministrazione di calore e/o il raffrescamento dello stesso edificio**, e che può essere individuata grazie ad un **approccio progettuale sostenibile**, che utilizza **risorse naturali** come la luce solare, il vento e la pioggia.

La ventilazione naturale, che sfrutta i moti convettivi dell'aria generati da differenze di temperatura e pressione tra l'interno e l'esterno di un immobile, consente di **produrre un flusso d'aria**. L'efficienza di questo sistema dipende dalla **posizione delle aperture e dalla direzione prevalente del vento**. Inoltre, è importante prevedere la possibilità di **regolare l'apertura delle finestre e delle porte** per adattarsi al variare delle diverse condizioni climatiche, e garantire il giusto equilibrio tra ricambio d'aria e comfort termico.

Ci sono **due principi per ventilare naturalmente un edificio**: la **ventilazione guidata dal vento** e **l'effetto camino**; la maggior parte degli edifici che impiegano la ventilazione naturale si basano principalmente sulla ventilazione guidata dal vento, ma il maggiore effetto potrebbe derivare dall'integrazione delle due tecniche.

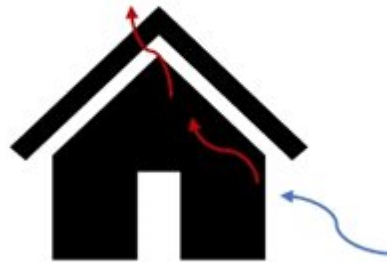
Nel **flusso da vento**, nel posizionare reciprocamente, in senso orizzontale, due o più chiusure esterne permeabili, valgono alcune regole fondamentali. Quando il vento soffia attraverso un edificio, entra in contatto con la **parete sopravvento** che sviluppa una pressione positiva, mentre la parete opposta, chiamata anche **parete sottovento**, sviluppa una pressione negativa. Se ci sono aperture sulle pareti sopravvento e sottovento di una casa, l'aria fresca entrerà attraverso le aperture sulla parete sopravvento e uscirà attraverso le aperture sottovento. Con vento più forte e aperture più grandi, molta più aria può passare attraverso l'edificio. I locali di servizio, quali wc e cucina, saranno posti sul lato sottovento dell'edificio, così da eliminare verso l'esterno gli odori creati in questi ambienti. Nel caso di **vento perpendicolare alle facciate**, con aperture su pareti opposte, occorre sfalsarne la posizione rispetto alla direzione del vento. Un **vento con direzione obliqua** rispetto alle facciate dell'edificio (con angolo di incidenza non superiore a 45°) genera una turbolenza che risulta più efficace di quella prodotta dal vento perpendicolare, sia con aperture confrontanti, posizionate su pareti opposte, sia con aperture poste su pareti contigue. Se le aperture sono collocate su pareti contigue, si può avere una ventilazione efficace, anche in caso di vento perpendicolare alla chiusura sopravvento, purché le chiusure stesse siano sufficientemente distanziate.

Azione del vento: porzione sopravvento e sottovento di un edificio



L'**effetto camino** si basa invece sulla **convezione**, e si verifica quando l'aria fredda entra in una casa al primo piano o nel seminterrato, assorbe il calore nella stanza, sale ed esce attraverso le finestre al piano superiore: questo crea un vuoto parziale, che aspira più aria attraverso le finestre di livello inferiore. Questo ciclo di fuoriuscita dell'aria calda e di aspirazione dell'aria fredda può accrescere il movimento dell'aria all'interno della casa, aumentando il comfort durante le giornate calde. Durante l'inverno, tuttavia, l'effetto camino può sottrarre calore se l'aria calda all'interno della casa viene semplicemente aspirata e sostituita con l'aria fredda dall'esterno.

Effetto camino



In sintesi, la ventilazione naturale dipende da diversi fattori tra cui:

Direzione del vento e orientamento degli edifici

Nord-Est e Sud-Ovest sono generalmente considerati come la direttrice dei venti in questo Paese. Pertanto, le aperture dovrebbero essere disposte lungo queste direzioni. In estate, il vento viene utilizzato per fornire quanta più aria fresca possibile mentre in inverno, la ventilazione è normalmente ridotta a livelli sufficienti per rimuovere l'umidità in eccesso e gli inquinanti. Il volume del flusso d'aria indotto dal vento attraverso una costruzione è esprimibile come:

$$Q_{wind} = K \times A \times V$$

dove

Q_{wind} = volume del flusso d'aria (m³/h)

A = area di apertura minore (m²)

V = velocità del vento esterno (m/h) K = coefficiente di efficacia

Il coefficiente di efficacia dipende dall'angolo del vento e dalla dimensione relativa delle aperture di entrata e di uscita. Si va da circa 0,4 per il vento che colpisce un'apertura con un angolo di incidenza di 45 ° a 0,8 per il vento che colpisce direttamente con un angolo di 90°.

Topografia dell'area circostante

Una topografia irregolare può ostacolare il movimento del vento a causa del quale il posizionamento, le dimensioni e i tipi di aperture possono essere modificati.

Dimensioni e tipi di aperture

L'efficienza del flusso nell'ambiente dipende da posizionamento delle aperture (più sono lontane tra loro maggiore è l'efficienza), dal posizionamento di partizioni nelle vicinanze delle stesse, ma soprattutto varia durante la giornata e le stagioni. L'automazione della loro apertura potrebbe aprire nuovi orizzonti nella tecnologia della ventilazione naturale di cui oggi potremmo non avere contezza.

Vegetazione / Paesaggio

Avere più vegetazione raffredda sicuramente l'ambiente circostante e assorbe il rumore. Ma, oltre a questi, gli alberi possono massimizzare il potenziale offerto dall'ambiente circostante, ed è infatti possibile servirsi di alberi o di altri "ostacoli" con cui incanalare il vento nella direzione voluta.

Vantaggi e limiti della ventilazione naturale

La **ventilazione naturale** attuata in un edificio offre alcuni importanti **vantaggi**, tra cui la creazione di un ambiente confortevole e salubre con pochi accorgimenti, unitamente al **minor costo** (economico, energetico e di spazio) rispetto a quella meccanica: va da sé, quindi, che sia la prima opzione valutata durante la progettazione. Tra le **limitazioni** vi è la **bassa efficienza** dovuta al **posizionamento dell'edificio** (in città, con un orientamento sfavorevole, senza vegetazione), con traffico veicolare o pedonale (che ne peggiora il rumore, la qualità dell'aria o la privacy), o con design interno, in quanto il massimo di efficienza si ha con spessori della costruzione 12-15 m di profondità (cinque volte l'altezza dal pavimento al soffitto o 2,5 volte l'altezza dal pavimento al soffitto se le aperture possono essere fornite solo su un lato).

Un ragionevole **compromesso** tra i meccanismi naturali e quelli tecnologici è l'utilizzo di "**serramenti intelligenti**", che si aprono tramite sensori ed automatismi in funzione delle concentrazioni indoor e outdoor di inquinanti. Questa tecnologia, attualmente in piena fase di sviluppo, si basa sull'utilizzo di **sensori** che rilevano la presenza di persone o la temperatura all'interno dell'ambiente, consentendo ai serramenti di aprirsi o chiudersi di conseguenza.

In generale, una progettazione attenta e consapevole dell'ubicazione e dell'orientamento degli edifici e degli spazi esterni può contribuire a ridurre i consumi energetici, migliorare il comfort termico e visivo degli ambienti e creare spazi più salubri e sostenibili.

Considerazioni sulla progettazione della ventilazione naturale

Secondo l'**approccio bioclimatico**, nella progettazione della ventilazione naturale è importante considerare diversi fattori come la direzione del vento, la forma dell'edificio, le caratteristiche del terreno circostante e l'ubicazione, forma e grandezza delle finestre, al fine di creare un **flusso d'aria attraverso l'edificio**. Inoltre, l'apertura e la chiusura delle finestre deve essere facilmente controllabile per permettere una regolazione ottimale della ventilazione, oltre che sistemi di filtraggio dell'aria per garantire la qualità dell'aria interna e prevenire eventuali problematiche legate all'inquinamento atmosferico. Infine, è importante tenere in considerazione le esigenze degli occupanti dell'edificio, prevedendo per esempio una regolazione della ventilazione a seconda delle diverse attività, nonché del clima esterno.

Conclusioni

Nel complesso (e con i limiti sopra citati), **la ventilazione naturale è un aspetto essenziale della progettazione di edifici sostenibili**, e può contribuire: a creare un **ambiente interno più piacevole e confortevole**, che può influire positivamente sulla **salute mentale**; a **mitigare lo stress** e migliorare il benessere generale; a **ridurre l'utilizzo di sistemi di aria condizionata o di riscaldamento**, moderando così i **costi energetici** ed i relativi **impatti ambientali**.

Testi e immagini sono protetti da copyright. È consentito l'uso citando la fonte