IL VALORE INTRINSECO DI UN EDIFICIO

COLLEGAMENTO TRA QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO E PRESTAZIONE ENERGETICA NEI REGOLAMENTI EDILIZI

BPIE

Autori
Paraskevi Vivian Dorizas
Maarten De Groote
Jonathan Volt

Team revisione ed editing BPIE
Frances Bean
Mariangiola Fabbri
Oliver Rapf
Roberta D'Angiolella

Revisori esterni
Tine Steen Larsen, Aalborg University
Peter Holzer, Institute of Building Research & Innovation ZT-GmbH

Designer
Ine Baillieul

BPIE desidera ringraziare gli esperti di VELUX, di seguito elencati, per il loro contributo alla pubblicazione mediante critiche costruttive e un feedback stimolante:
Nicolas Galioto
Peter Foldbjerg
Jernel Vernik

Pubblicato a ottobre 2018 da Buildings Performance Institute Europe (BPIE).

Copyright 2018, Buildings Performance Institute Europe (BPIE). L'eventuale riproduzione integrale o parziale della presente pubblicazione richiede la citazione completa del titolo e dell'autore oltre che il riconoscimento di BPIE quale titolare del copyright. Tutti i diritti riservati.

Il Buildings Performance Institute Europe è un think-tank europeo senza fini di lucro, il cui interesse principale consiste nell'elaborare analisi indipendenti e diffondere conoscenze, sostenendo una politica basata su dati affidabili nel campo della prestazione energetica in edilizia. L'istituto si occupa di analisi politica, fornendo consulenza in materia e supporto all'attuazione. www.bpie.eu

INDICE

SOMMARIO ESECUTIVO 4

RACCOMANDAZIONI IN SINTESI 6

INTRODUZIONE 7

PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO 8

- Qualità dell'aria interna 10
- Comfort termico 10
- Illuminazione 11
- Acustica 12

INDICATORI A LUNGO TERMINE PER LA VALUTAZIONE DELL'AMBIENTE INTERNO 13

- Criteri di progettazione 13
- Calcoli 14
- Misurazioni 15
- Valutazioni qualitative 16

REGOLAMENTI EDILIZI 18

- Nuovi elementi della Direttiva di modifica sulla prestazione energetica nell'edilizia 19
- Requisiti sui parametri IEQ a livello nazionale 21

OPPORTUNITÀ PER RECEPIRE L'IMPORTANZA DELLA IEQ NELLE POLITICHE NAZIONALI ED EUROPEE 25

- Strategie di ristrutturazione a lungo termine 26
- Attestati di prestazione energetica 28
- indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza 31
- Conformità e controllo della qualità 32

RACCOMANDAZIONI VOLTE A INCREMENTARE IL RICONOSCIMENTO DELLA IEQ NELLA POLITICA EUROPEA E NAZIONALE 33

RIFERIMENTI 36

SOMMARIO ESECUTIVO

Un vasto numero di studi scientifici evidenzia come la qualità dell'ambiente interno (IEQ) abbia un effetto diretto sulla salute, sul comfort, sul benessere e sulla produttività. Considerando che le persone trascorrono molto del loro tempo in ambienti chiusi, risulta essenziale che la legislazione edilizia assicuri livelli sufficienti di IEQ, nell'intento di promuovere spazi interni salubri e confortevoli.

Il presente rapporto illustra in sintesi le opportunità principali per integrare l'importante concetto della IEQ all'interno del quadro normativo nazionale ed europeo. Si analizzano ed esaminano attentamente i fattori determinanti per la qualità dell'ambiente interno di un edificio, procedendo con un'ulteriore disamina dell'impatto prodotto dalla IEQ su salute, comfort, benessere e produttività. Si definiscono anche gli indicatori per la valutazione dell'ambiente interno e si passa quindi ad analizzare la legislazione dell'UE, per comprendere se le informazioni relative al conseguimento di un'adeguata qualità dell'ambiente interno siano sufficienti. Vengono considerate le opportunità di integrare la IEQ in aree quali la ristrutturazione e la prestazione energetica, discutendo una serie di strumenti e iniziative. Infine, si riportano raccomandazioni volte a incrementare il riconoscimento della IEQ nella legislazione europea e nazionale.

Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), nel 2012, 4,3 milioni di decessi nel mondo, di cui 99.000 in Europa, sono stati attribuiti all'inquinamento dell'aria interna [1] [2]. Inoltre, uno studio del World Green Building Council sul business case relativo a salute, benessere e produttività indica che le spese per il personale rappresentano circa il 90% dei costi operativi aziendali, mentre la spesa corrispondente per l'energia equivale unicamente all'1%. Di conseguenza, ciò che può apparire come un modesto miglioramento della salute o della produttività dei dipendenti, ha in realtà implicazioni finanziarie significative per i datori di lavoro [3].

I fattori chiave della IEQ includono la qualità dell'aria interna, il comfort termico, l'illuminazione e l'acustica. La qualità dell'aria interna ha come parametro di riferimento l'aria in cui non siano presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose e, rispetto alla quale, la grande maggioranza delle persone esposte non esprima insoddisfazione [4], mentre il comfort termico è definito come la condizione mentale in cui viene espressa soddisfazione per l'ambiente termico [5]. Tassi di ventilazione adeguati, unitamente alla limitazione e al controllo delle fonti di inquinamento interne, sono essenziali per eliminare i contaminanti presenti nell'aria e assicurare una qualità dell'aria interna e un comfort termico ottimali. Livelli di illuminazione sufficienti sono necessari per effettuare in modo efficiente e accurato le varie attività visive; a tale riguardo, gli studi compiuti hanno dimostrato il notevole impatto positivo delle finestre e dell'esposizione alla luce naturale sulla salute complessiva e sulla qualità del sonno degli impiegati. Il comfort acustico include la capacità di proteggere gli occupanti dal rumore, garantendo un ambiente idoneo ad adempiere le finalità per cui l'edificio è progettato. Secondo la Smart Building Alliance il rumore è in grado di determinare una perdita della produttività fino all'8% [6].

Per garantire una IEQ soddisfacente, è necessario valutare l'ambiente interno. Gli indicatori a lungo termine per la valutazione dell'ambiente interno, sulla base della norma europea EN15251, comprendono criteri di progettazione, calcoli, misurazioni e valutazioni soggettive. I criteri di progettazione dovrebbero essere mirati a massimizzare il livello di soddisfazione degli occupanti, specificando limiti misurabili o intervalli di valori per ciascuno dei principali fattori ambientali interni. I calcoli includono, tra le altre cose,

simulazioni di edifici, mentre le misurazioni costituiscono un indicatore quantitativo per la valutazione dell'ambiente interno [7]. Un ulteriore indicatore qualitativo fondamentale per tale valutazione è costituito dai sondaggi sugli occupanti dell'edificio.

Se da un lato la Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia, modificata recentemente (EPBD 2018/844), include elementi relativi a salute, comfort, qualità dell'aria interna e condizioni climatiche interne, dall'altro non offre sufficienti informazioni sul conseguimento di una IEQ soddisfacente. Inoltre, a livello nazionale i requisiti IEQ variano in misura significativa da un paese all'altro.

Tuttavia, nonostante le differenze sostanziali tra i regolamenti edilizi europei, la vera opportunità è da cogliere proprio a livello nazionale; di conseguenza, è necessario sviluppare approcci volti a integrare la IEQ nel quadro politico di ciascun paese. Per raggiungere questo obiettivo sono state individuate quattro aree di opportunità: (i) strategie di ristrutturazione a lungo termine, (ii) attestati di prestazione energetica (APE), (iii) indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza e (iv) misure di controllo della conformità e della qualità.

Le strategie di ristrutturazione a lungo termine dovrebbero mirare al riconoscimento della qualità dell'ambiente interno, mentre gli Stati membri dovrebbero evidenziare come la garanzia della IEQ per riqualificazioni efficienti in termini di energia possa determinare benefici significativi per la salute [8]. Inoltre, l'attuale metodologia dell'ottimalità dei costi è limitata e trascura molti dei guadagni sociali legati alla maggiore salubrità di edifici a energia quasi zero. L'integrazione di tali guadagni aumenterebbe il tasso di ristrutturazione e promuoverebbe il passaggio a edifici salubri, confortevoli e a energia quasi zero.

Gli attestati **APE** dovrebbero fornire indicazioni per il potenziamento efficace od ottimale in termini di costi della prestazione energetica, assicurando che le raccomandazioni sulla ristrutturazione includano aspetti della IEQ, volti a favorire la salute e il benessere degli occupanti [9]. Gli attestati APE, unitamente al Passaporto di ristrutturazione edilizia, potrebbero considerare aspetti della IEQ basati su dati affidabili, desunti da misurazioni, esiti di sondaggi con interviste agli occupanti e/o simulazioni al computer [10].

L'**indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza** dovrebbe servire a individuare e promuovere i benefici degli edifici intelligenti per utenti e occupanti, per il sistema energetico, l'economia e la società nel suo complesso [11]. Gli edifici intelligenti non devono solo essere efficienti dal punto di vista energetico e salubri, ma essere in grado di riconoscere le esigenze di utenti e occupanti verso l'ottimizzazione di comfort, qualità dell'aria interna, benessere e requisiti operativi, reagendo di conseguenza [11].

Infine, per sostenere l'integrazione della IEQ entro il quadro normativo, è indispensabile adottare meccanismi adeguati di **controllo della conformità e della qualità**, assicurandone l'applicazione e l'attuazione

SINTESI DELLE RACCOMANDAZIONI

- Armonizzare le metodologie di calcolo e i requisiti IEQ
- Applicare gli aspetti della IEQ nell'attuazione dell'EPBD

- Usare strategie di ristrutturazione nazionali a lungo termine per stimolare miglioramenti nella IEQ
- Utilizzare il nuovo concetto del passaporto di ristrutturazione degli edifici per assicurare miglioramenti effettivi della IEQ
- Affrontare la IEQ nelle ristrutturazioni energetiche importanti
- Integrare aspetti della IEQ nell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza
- Rendere gli attestati di prestazione energetica più utili per i proprietari
- Assicurare un livello globale di conformità e controllo della qualità
- Accrescere la consapevolezza degli occupanti in merito agli aspetti della IEQ
- Ampliare la formazione degli esperti energetici

INTRODUZIONE

Considerando che gli Europei trascorrono circa il 90% del tempo al chiuso, l'ambiente interno influisce significativamente sulla salute e il comfort delle persone. La qualità dell'aria interna, il comfort termico e acustico e livelli sufficienti di illuminazione costituiscono i fattori principali, atti a determinare la qualità dell'ambiente interno (IEQ), oltre a giocare un ruolo importante nel garantire la qualità di vita e il benessere generale degli occupanti [1]. Di conseguenza, al fine di risultare efficaci, i regolamenti edilizi devono prevedere un'adeguata integrazione del concetto di IEQ.

Il quadro normativo edilizio, che considera aspetti legati al consumo energetico, è studiato per migliorare costantemente la prestazione energetica del parco immobiliare e ridurre le emissioni di CO_2, assicurando allo stesso tempo una IEQ di buon livello. Secondo la Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia, modificata recentemente (EPBD 2018/844), che costituisce la principale normativa europea in materia, i requisiti di prestazione energetica dovrebbero ottimizzare i livelli di salute, qualità dell'aria interna e comfort [12] [13].

I progetti precursori e le norme volontarie dimostrano che gli edifici possono essere estremamente efficienti in termini di energia, assicurando al contempo livelli eccellenti di qualità dell'aria interna, comfort termico, luce naturale e acustica. Sfortunatamente, con l'aggiornamento dell'EPBD non è stata colta l'opportunità per indicare come garantire case salubri e confortevoli per i cittadini europei. La responsabilità ora è a livello nazionale: gli Stati membri UE sono tenuti ad adottare regolamenti edilizi in grado di ridurre l'impronta climatica del parco immobiliare e conferire autonomia e responsabilità agli occupanti, per avere un ambiente salubre e prospero.

La progettazione di edifici intelligenti e le tecnologie di controllo intelligenti ci forniranno informazioni essenziali sul consumo energetico, le condizioni climatiche interne e il comportamento degli utenti. Per sfruttare i benefici potenziali di questa tecnologia si rende necessaria una valutazione olistica dell'edificio, che poggia su tre pilastri principali: (i) prestazione energetica; (ii) condizioni climatiche interne e (iii) intelligenza dell'edificio.

Il presente rapporto mira a definire le modalità con cui taluni aspetti dell'IEQ possano essere integrati nell'attuazione del quadro normativo europeo in materia di prestazione energetica nell'edilizia. Si fa riferimento a edifici residenziali e non. Gli obiettivi principali del rapporto sono indicati di seguito:

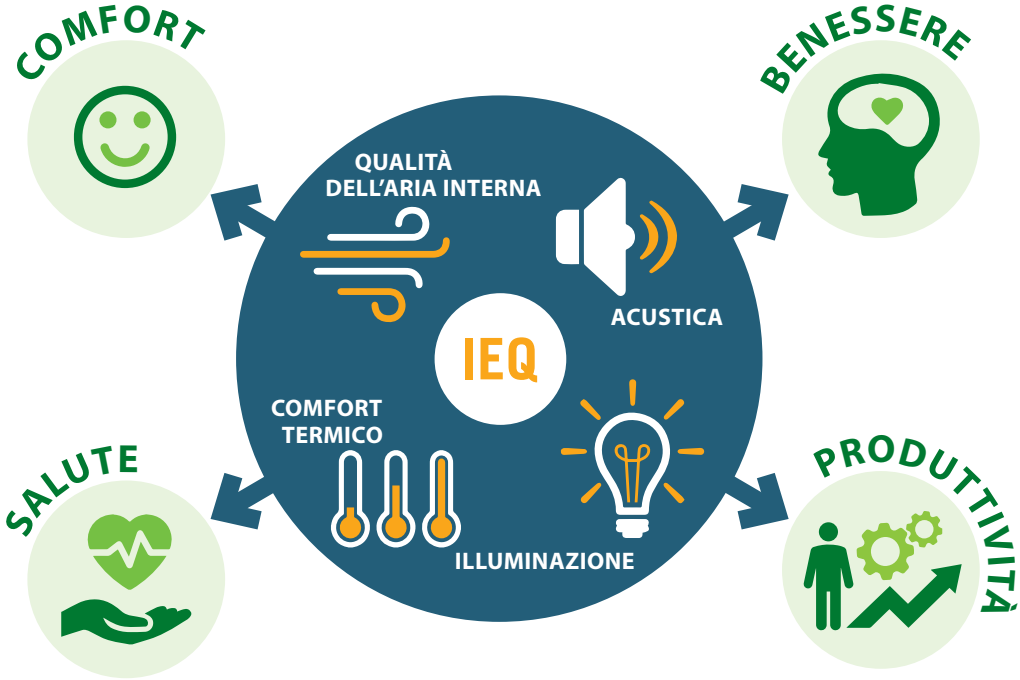
1. **DEFINIRE I PRINCIPALI PARAMETRI DETERMINANTI PER LA IEQ**
2. **DETERMINARE GLI INDICATORI PRINCIPALI PER LA VALUTAZIONE DELLA IEQ**
3. **PROPORRE RACCOMANDAZIONI AL FINE DI INTEGRARE LA IEQ NELL'ATTUAZIONE DEL QUADRO LEGISLATIVO EUROPEO**

PARAMETRI IN MATERIA DI QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA

I fattori più importanti, in grado di determinare l'IEQ di un edificio, riguardano la qualità dell'aria interna, il comfort termico, l'illuminazione e l'acustica. Ciascuno di tali fattori contribuisce al clima interno complessivo in misura simile. Tuttavia, il comportamento degli occupanti (ad es. l'apertura delle finestre con l'impianto di riscaldamento acceso), la loro consapevolezza e il livello di adattamento alle condizioni ambientali interne sono di importanza critica per il mantenimento di una IEQ soddisfacente. Inoltre, anche i dispositivi di controllo degli edifici (di tipo manuale o automatico), atti a garantire che i parametri ambientali interni, come la temperatura, siano mantenuti entro livelli accettabili, possono influenzare la IEQ complessiva.

Diversi studi scientifici hanno indicato che la IEQ ha un effetto diretto sulla salute, sul comfort, sul benessere e sulla produttività degli occupanti (Figura 1) [14]. Considerare che le persone in Europa trascorrono circa il 90% del tempo al chiuso è essenziale per comprendere gli aspetti caratteristici della IEQ, al fine di garantire la salute e il benessere degli occupanti [15] [16] [17].

Figura 1 - Elementi e impatto della IEQ



Impatto della IEQ su salute, comfort, benessere e produttività

Numerosi studi epidemiologici hanno dimostrato che diversi aspetti della IEQ (ad es. gli inquinanti dell'aria interna) sono correlati a effetti sulla salute umana, come allergie, sintomi asmatici, morbilità cardiovascolare e respiratoria e persino mortalità [18] [19]. Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), nel 2012, 4,3 milioni di decessi nel mondo, di cui 99.000 in Europa, sono stati attribuiti all'inquinamento dell'aria interna [1] [2]. Le persone che vivono in ambienti soggetti a umidità e muffe hanno una probabilità del 40% superiore di contrarre l'asma, mentre 2,2 milioni di Europei soffrono di asma come conseguenza delle proprie condizioni di vita [20]. Si stima che ogni anno circa 2,2 milioni di

anni di vita al netto della disabilità (DALYs, disability-adjusted life years) vengano persi in Europa a causa dell'esposizione a inquinanti dell'aria interna, mentre 110 milioni di cittadini UE vivono in edifici affetti da concentrazioni elevate di inquinanti pericolosi per l'assenza di livelli adeguati di ventilazione [21]. Inoltre, ristrutturazioni efficienti in termini di energia possono determinare un miglioramento significativo della IEQ, con benefici sostanziali per la salute [22] [23].

L'impatto della IEQ si riflette anche nel miglioramento delle prestazioni scolastiche e lavorative e nella riduzione dell'assenteismo. La tabella 1 sintetizza gli impatti di alcuni aspetti della IEQ e di elementi correlati agli edifici sulla produttività [6]. Uno studio del World Green Building Council sul business case relativo a salute, benessere e produttività mostra che le spese per il personale rappresentano circa il 90% dei costi operativi aziendali, mentre la spesa corrispondente per l'energia equivale unicamente all'1% [3]. Di conseguenza, è fondamentale per qualsiasi organizzazione considerare gli aspetti legati alla produttività e al benessere del personale.

Tabella 1 - Impatto di elementi correlati agli edifici sulla produttività (fonti: Wargocki, 2000; Wyon, 2004; Heschong, 1999; Juslén, Wouters & Tenner, 2007; Allen, 2016; Barkman, 2012; Keis, 2014, citati in Buildings 2030)

Elemento	Impatto sulla produttività	Contesto
Ventilazione	Incremento fino al ~2% della produttività dei dipendenti in ufficio grazie al raddoppiamento del tasso di ventilazione	Uffici
Qualità dell'aria	Decremento della produttività del 6%–9% in ambienti con una scarsa qualità dell'aria interna	Uffici
Illuminazione	Il progresso nell'apprendimento ha mostrato un miglioramento dal 7% al 26% in ambienti con livelli elevati di luce naturale rispetto a quelli con livelli bassi	Scuole
	Il processo di apprendimento ha mostrato un miglioramento pari a ~20% in presenza di lucernari con ulteriore accesso alla luce naturale rispetto agli ambienti illuminati artificialmente	
	Velocità di lettura aumentata del 30% con la luce bianca fredda ad attivazione automatica	
	Concentrazione aumentata del 30% con la luce ottimizzata biologicamente	
	Durata media dei ricoveri (ospedalizzazione) ridotta tra il 16% e il 41% nelle stanze con livelli elevati di luce naturale	Ospedali
Vista	Il processo di apprendimento ha mostrato un miglioramento tra il 15% e il 23% nelle classi dotate di grandi finestre	Scuole
Controllo dell'utente	Miglioramento dal 7% all'8% nelle classi con finestre regolabili rispetto a quelle con finestre non regolabili	Scuole
	Aumento della produttività del 4,5% nelle postazioni di lavoro dotate di controllo dell'illuminazione	Produzione
Qualità dell'aria e illuminazione	Incrementi significativi delle funzioni cognitive con il miglioramento della qualità dell'aria e dell'illuminazione	Uffici
Temperatura	Quando la temperatura è >25°C, ogni grado di aumento ulteriore determina un calo della produttività fino al 2%	Uffici
Biofilia	La presenza della natura in spazi interni o esterni può determinare un aumento della produttività dal 6% al 12%	Uffici

QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

Per un livello accettabile di qualità dell'aria interna si fa riferimento all'aria in cui non siano presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose e, rispetto alla quale, la grande maggioranza delle persone esposte non esprima insoddisfazione [4]. Tra le fonti di contaminanti negli edifici residenziali sono inclusi gli stessi occupanti (ad es. CO2 rilasciato dalla respirazione umana), le emissioni da fonti di combustione interne e attività quali cucinare o fumare, oltre a emissioni provenienti da arredi, materiali da costruzione o prodotti per la pulizia [10]. I contaminanti più comuni sono il biossido di carbonio, il monossido di carbonio, il particolato e i composti organici volatili (COV) [24]. La qualità dell'aria interna può risultate degradata a causa dell'inquinamento esterno derivante dal traffico, dalle fonti di combustione, da attività di costruzione e agricole, che penetra nell'edificio attraverso le finestre, le infiltrazioni o i sistemi di ventilazione meccanica. Criteri di progettazione specifici per la qualità dell'aria interna sono oggetto di diverse norme [1] [25] [26].

Il rapporto tra scarsa qualità dell'aria e aumenti dei casi di asma, allergie ed eczemi è stato evidenziato in numerosi studi. I sintomi che interessano più frequentemente la salute in relazione agli edifici sono le irritazioni oculari, nasali, della pelle e della gola, sintomi del tratto respiratorio superiore, affaticamento e cefalee [27]. La definizione di 'Sindrome dell'edificio malato' (SBS - Sick Building Syndrome) è stata introdotta per descrivere sintomi di questo genere, non attribuibili a malattie specifiche. I disturbi possono essere localizzati in una particolare zona o locale dell'edificio [28]. Si tratta di sintomi destinati solitamente a sparire quando la persona lascia l'edificio. La SBS si manifesta in edifici con livelli inadeguati di ventilazione e illuminazione, livelli elevati di rumore ambientale e odori intensi.

La ventilazione è un metodo fondamentale per eliminare i contaminanti dagli edifici e risulta essenziale per garantire una buona qualità dell'aria interna nonché il comfort termico. La ventilazione è richiesta anche per garantire il preraffreddamento notturno della struttura dell'edificio durante i mesi estivi e per distribuire l'aria condizionata, nonché per eliminare i contaminanti, l'umidità e gli odori da fonti quali cucine e stanze da bagno [24]. Con l'evoluzione degli edifici verso una crescente efficienza energetica aumenta la domanda di una maggiore ermeticità. Di conseguenza, diventa ancora più importante fornire una ventilazione adeguata, per assicurare una buona qualità dell'aria interna. La ventilazione può essere prodotta da forze naturali (vento e/o spinta idrostatica) o da mezzi meccanici (ventilatori). I tassi di ventilazione dell'edificio sono espressi in unità di portata d'aria per superficie del locale, portata d'aria per numero di persone, portata d'aria e ricambi d'aria all'ora (ACH).

La portata d'aria fresca può contribuire all'eliminazione degli inquinanti dell'aria interna. Tuttavia, provvedere a tassi di ventilazione sufficienti senza considerare le fonti interne di inquinamento dell'aria (ad es. la stufa a legna, i caminetti, ecc.) può limitare il miglioramento della qualità dell'aria interna. Oltre a ridurre le fonti interne, è anche necessario controllare la concentrazione dell'inquinamento esterno. Attualmente, la legislazione europea si sta occupando ampiamente di inquinamento atmosferico. Le norme più rilevanti sono contenute nella Direttiva sulla qualità dell'aria ambiente (QAA) (2008) e nella Direttiva sulla riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici (NEC) (2016), che ha fissato standard per la misurazione della qualità dell'aria e limiti alle concentrazioni di inquinanti nell'aria, nell'intento di ridurre le emissioni alla fonte [29].

COMFORT TERMICO

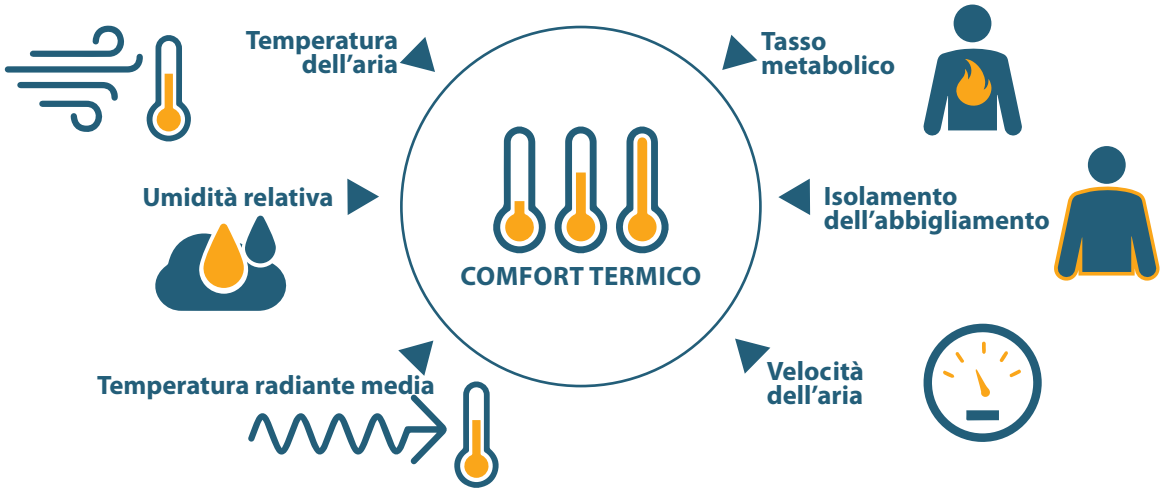
Secondo la norma EN ISO 7730, 'il comfort termico è la condizione mentale in cui viene espressa soddisfazione per l'ambiente termico' [5]. Sebbene i fattori determinanti per il comfort termico siano molteplici, la definizione riguarda principalmente il modo in cui le persone interagiscono con l'ambiente termico. Quando le persone dicono di avere freddo, caldo, sentire spifferi o aria viziata, in realtà reagiscono alla qualità e alle condizioni dell'aria nello spazio e al trasferimento di calore dal proprio corpo all'ambiente circostante [30].

[1] EN 15251:2007, EN 13779, EN 16000-1:2006 e EN ISO16814:2008

Il bilanciamento tra guadagni e perdite di calore all'interno del corpo produce la sensazione di comfort termico. Il disagio termico può avere effetti negativi sull'umore, sulla produttività e sulle prestazioni, causando anche affaticamento e irritabilità [30] [31].

L'ambiente termico è definito in base a parametri ambientali, come la temperatura (aria, radiante), l'umidità relativa e la velocità dell'aria, oltre che parametri personali quali l'abbigliamento, il livello di attività, il sesso e l'età, che influiscono sul tasso metabolico delle persone (Figura 2).

Figura 2 - Fattori principali che influiscono sul comfort termico (fonte: norma EN ISO 7730)



L'interazione termica tra le persone e il relativo ambiente è un campo complesso. La ricerca ha dimostrato che la sensazione di comfort termico non dipende soltanto da meccanismi di trasferimento del calore e dalla fisiologia umana ma anche da fattori sociali. Il livello di comfort o disagio termico in studi di laboratorio o sul campo viene espresso spesso come percentuale di persone soddisfatte o meno delle condizioni termiche. Solitamente è difficile ottenere condizioni termiche soddisfacenti per tutti gli utenti di un edificio in qualsiasi momento [30].

Date le condizioni ambientali, la sensazione termica generale e il grado di (in)soddisfazione termica delle persone esposte possono essere previsti utilizzando gli indici del voto medio previsto (PMV) e della percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) [5]. Il primo modello di comfort termico era stato sviluppato da Fanger nel 1967 (Modello di comfort di Fanger) e si basava sull'equazione del bilancio termico per calcolare gli indici PMV e PPD, utilizzando una scala di sette valori da freddo (-3) a caldo (+3) [5].

ILLUMINAZIONE

Per eseguire diversi tipi di attività visive con efficienza e accuratezza sono necessari livelli adeguati di illuminazione. L'illuminazione all'interno di un edificio dovrebbe consentire agli utenti di muoversi in sicurezza, svolgere mansioni lavorative in modo produttivo e donare un aspetto piacevole agli spazi. L'eccessiva luminosità o la luce abbagliante, proveniente da una fonte luminosa (solare o elettrica), può determinare effetti perturbanti; per tale motivo, durante la progettazione dell'impianto di illuminazione di un edificio, si devono prevedere tecnologie di ombreggiamento e corpi illuminanti schermati [6]. Livelli appropriati di illuminazione possono essere assicurati mediante la luce naturale e/o artificiale.

Studi recenti hanno mostrato che un'illuminazione inadeguata può anche avere effetti negativi sulla salute umana. La maggior parte delle fonti d'illuminazione tradizionali non garantiscono la dinamicità e le

qualità spettrali idonee per le diverse ore del giorno. La mancanza di livelli di illuminazione appropriati (da fonti naturali o elettriche) è collegata a potenziali effetti dannosi, come i disturbi del ritmo circadiano, che determinano insonnia, sintomi depressivi e una riduzione dell'attività, della vigilanza e delle prestazioni cognitive [6] [31]. Le fonti di illuminazione, che imitano le proprietà della luce solare naturale, cambiando colore durante il giorno e garantendo una resa cromatica in grado di riprodurre il colore reale degli oggetti all'interno dell'edificio, costituiscono possibili approcci per la risoluzione dei problemi riportati.

L'impatto delle finestre e dell'esposizione alla luce naturale per la salute complessiva e la qualità del sonno degli impiegati è significativo. Gli impiegati esposti a livelli sufficienti di luce naturale e a un'illuminazione ad alta intensità e lunghezza d'onda breve hanno manifestato maggiore vigilanza, concentrazione e umore migliore rispetto a quanto accade con l'illuminazione standard degli uffici. Anche la qualità del sonno durante la notte è risultata migliore. Tuttavia, un maggiore uso del vetro può incrementare le perdite di calore dell'edificio, per cui occorre bilanciare livelli sufficienti di luce naturale e perdite termiche.

I livelli di illuminamento sono utilizzati come standard di misurazione dell'illuminazione. I livelli di illuminamento richiesti per talune attività visive dipendono dal tipo di attività e dall'ambiente visivo in cui si dovrebbero svolgere [32] [33]. Lo standard di misurazione EML (Equivalent Melanopic Lux, illuminamento equivalente melanopico), recentemente sviluppato, considera gli effetti biologici della luce sugli esseri umani.

ACUSTICA

Il comfort acustico negli edifici riguarda la capacità di proteggere gli occupanti dal rumore, garantendo un ambiente acustico idoneo ad adempiere le finalità per cui l'edificio è progettato. Il rumore è il "suono indesiderato" che, all'interno di un edificio, può impedire la comunicazione verbale, disturbare le attività e la concentrazione e, a livelli elevati, causare addirittura danni all'udito [34]. Il tempo di riverbero, definito come il tempo necessario per ottenere un decadimento di 60 dB del livello sonoro, rappresenta un altro aspetto importante dell'acustica all'interno di in un locale ed è associato al volume della sala e alla quantità di materiali assorbenti [32]. Gli utenti di un edificio sono sottoposti a rumori interni ed esterni. Il traffico stradale, i treni, gli aerei e i cantieri possono generare livelli di rumore più elevati. Il rumore di fondo, proveniente dagli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC) e dai dispositivi utilizzati in ufficio, o anche da conversazioni tra gli occupanti, può creare disturbo e pregiudicare ulteriormente la capacità degli occupanti di eseguire compiti semplici e complessi [6]. Per quanto riguarda in particolare gli appartamenti, il rumore può anche provenire dal vicinato come rumore d'impatto o rumore aereo.

I sistemi sviluppati recentemente, collegati a sensori e applicazioni degli utenti, consentono a questi ultimi di adattare il luogo di lavoro in base al livello sonoro preferito (considerando le proprie esigenze di concentrazione personali). Ciò consente di adattare acusticamente gli spazi sulla base delle aspettative degli utenti in termini di rumore [6]. L'esposizione al rumore solleva una serie di preoccupazioni anche di tipo non acustico, dal momento che incide sul funzionamento di molteplici organi e sistemi umani, causando pressione sanguigna elevata, anomalie del ritmo cardiaco e ipertensione [6]. Inoltre, le distrazioni dovute la rumore hanno un impatto significativo sulla produttività [35], che, secondo la Smart Building Alliance, può calare fino all'8% [6].

L'ambiente acustico deve essere progettato in modo da evitare questi effetti dannosi. I criteri impiegati per definire un ambiente acustico accettabile sono espressi in livelli sonori con i decibel (dB) oppure in frequenze sonore come il noise rating (NR) o i noise criteria (NC). I criteri per la valutazione del rumore in molteplici tipi di edifici e spazi diversi sono indicati nella norma EN 15251, senza considerare, però, il rumore esterno ma solo quello proveniente dalle apparecchiature di servizio. Il livello medio di pressione sonora dall'esterno non dovrebbe superare i 50 dBA [31]. Per i vari tipi di spazi si dovrebbe considerare anche il tempo massimo di riverbero (RT60), che indica il tempo necessario per ottenere un decadimento di 60 dB.

INDICATORI A LUNGO TERMINE PER LA VALUTAZIONE DELL'AMBIENTE INTERNO

La valutazione dell'ambiente interno è necessaria per assicurare una IEQ soddisfacente. Secondo la norma EN15251:2007, la valutazione della prestazione di un edificio in relazione alla IEQ si può basare sui seguenti indicatori a lungo termine: criteri di progettazione, calcoli, misurazioni e valutazioni soggettive. Considerando lo stadio e la fase dell'edificio (ad es. prima, dopo o durante la costruzione o la ristrutturazione), gli indicatori si applicano in misura diversa, come analizzato in dettaglio più avanti.

CRITERI DI PROGETTAZIONE

L'ambiente interno dovrebbe essere progettato in modo da assicurare agli occupanti condizioni di salute e comfort. Per esempio, il progetto dovrebbe garantire la prossimità a finestre e fonti di luce naturale negli spazi interni o un dimensionamento adeguato dei sistemi HVAC, per una distribuzione soddisfacente dell'aria all'interno degli edifici, evitando il surriscaldamento o gli spifferi di aria fredda. Dal momento che la percezione e la valutazione soggettiva differiscono da un individuo all'altro, è inevitabile un certo livello di insoddisfazione tra gli utenti di un edificio [32].

Durante la fase di progettazione di una costruzione o ristrutturazione i criteri applicabili dovrebbero essere volti a minimizzare il livello di insoddisfazione delle singole persone. È necessario specificare limiti misurabili o intervalli di valori per ciascuno dei principali fattori ambientali interni. Ad esempio, il Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) raccomanda, per i soggiorni, livelli di illuminamento di 50-300 lux, un noise rating di 30 NR e temperature di 22-23°C in inverno e 23-25°C in estate [30]. La tabella 2 sintetizza alcune delle principali linee guida necessarie per ciascuna categoria di ambiente interno.

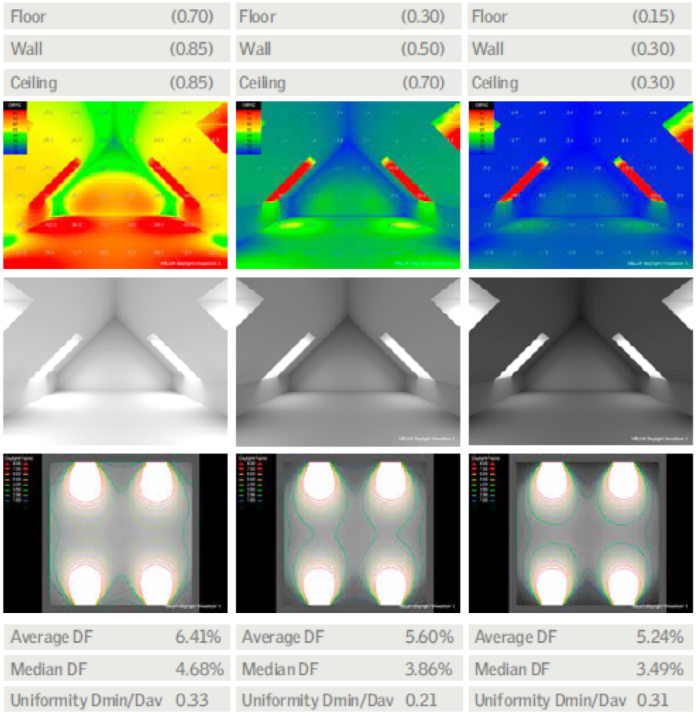
Tabella 2 - Categorie di ambiente interno e linee guida pertinenti

Categorie di ambienti interni	Criteri di progettazione/linee guida
Criteri termici	EN ISO 7730, standard ASHRAE 55-2013, ISO 7726:2001; EN 15251:2007
Criteri relativi a qualità dell'aria e ventilazione	EN 15251:2007, EN 16000-1:2006, EN 13779, EN ISO16814:2008, EN 16798-7, EN 15242: 2007
Criteri di illuminazione	EN 12464-1, EN 12193, EN 15193-1, EN 17037
Criteri acustici	EN 15251:2007

CALCOLI

Tra le altre cose, è possibile analizzare le prestazioni degli edifici mediante simulazioni in regime dinamico o stazionario, da effettuare durante la fase della progettazione. I relativi assunti, le condizioni limite e le prove di validazione richiesti per finalità di calcolo sono specificati nella norma EN 15265: 2007. Le condizioni di comfort termico nel corso del tempo possono essere valutate, ad esempio, calcolando la percentuale di tempo in cui le temperature si trovano al di fuori di un intervallo specificato predefinito. Per simulare l'ambiente termico, la qualità dell'aria interna, la luce naturale e l'acustica sono disponibili diversi strumenti software. Per esempio, la figura 3 mostra i risultati della simulazione della luminanza in merito all'effetto della riflettanza superficiale sui livelli di luce naturale. Si può notare che le superfici scure riflettono meno luce rispetto a quelle chiare, per cui il colore e la riflettanza delle superfici in una stanza sono da considerare componenti del sistema di illuminazione.

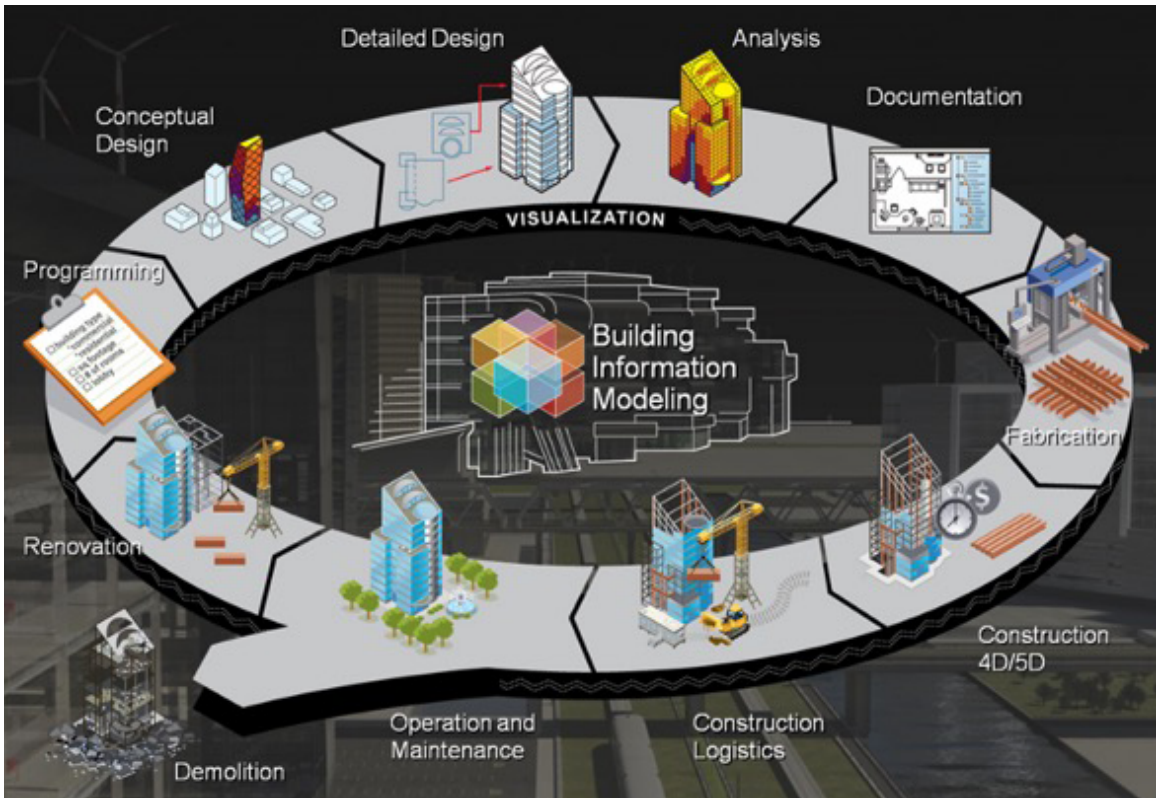
Figura 3 - Simulazioni della luminanza che mostrano l'effetto della riflettanza superficiale sui livelli di luce naturale (fonte: VELUX 2014)



Gli esiti differiscono in base all'obiettivo dello studio e ai parametri in esame. Per esempio, se l'attenzione, durante la valutazione della qualità dell'aria interna, è focalizzata sull'inquinamento dell'aria interna, sarà necessario prevedere la distribuzione spaziale o temporale di taluni inquinanti atmosferici. Occorre evidenziare che gli assunti e le condizioni limite, impostati come input durante la progettazione della simulazione, sono di grande importanza e influiscono in misura significativa sugli esiti raggiunti.

Recentemente, il building information modelling (BIM) è diventato una tecnologia di tendenza nel settore delle costruzioni. BIM è un processo intelligente basato su modelli 3D per la rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali degli edifici, potenzialmente collegabili alla IEQ (Figura 4). BIM consente a persone fisiche (architetti, ingegneri e professionisti nel settore delle costruzioni), agenzie governative e imprese di progettare, pianificare e costruire in modo efficace edifici e infrastrutture come strade, gallerie, società di servizi elettrici, idrici e delle comunicazioni, ecc. [36].

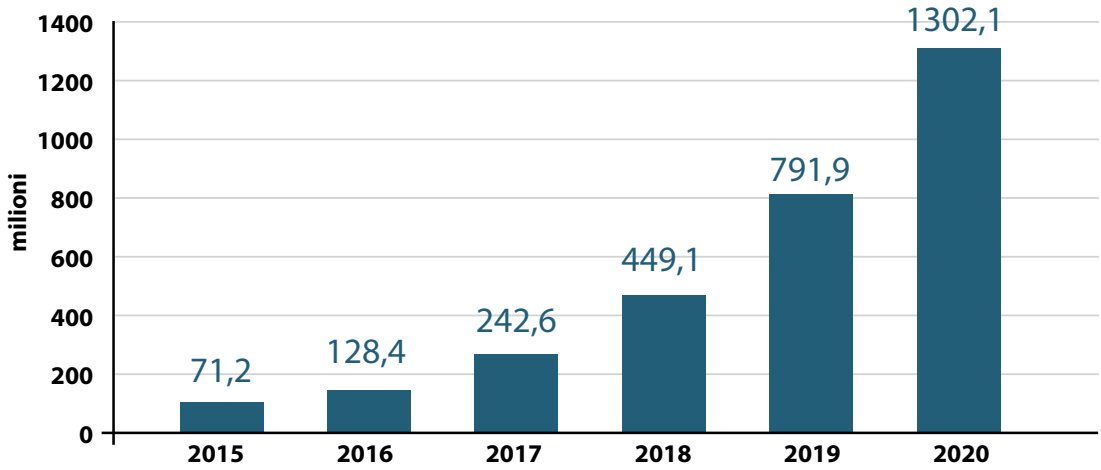
Figura 4 - Building information modelling (fonte: APROPLAN, immagine per gentile concessione di Autodesk)



MISURAZIONI

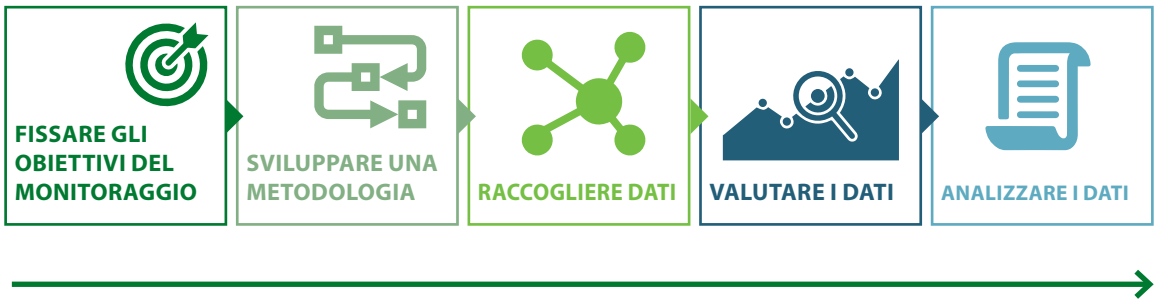
Le misurazioni costituiscono un indicatore quantitativo per la valutazione dell'ambiente interno. Considerata l'evoluzione verso una società digitale, in cui i sensori sono sempre più ampiamente utilizzati, il monitoraggio IEQ sta assumendo una posizione dominante (figura 5).

Figura 5 - Diffusione prevista per i sensori negli immobili commerciali (fonte: Gartner IoT, Endpoints and associated services, Worldwide, 2015)



Le misurazioni possono essere di livello base (ad es. monitoraggio della temperatura mediante un semplice termometro da tavolo) o di alto livello, con maggiori dettagli e accuratezza. Nel caso delle misurazioni di alto livello, l'ambito del monitoraggio, chiaramente definito, ne determina la metodologia, ovvero l'accuratezza, l'intervallo di monitoraggio, la durata delle misurazioni, ecc. Le misurazioni possono essere a breve o lungo termine in base all'obiettivo del monitoraggio. La strumentazione dovrebbe essere calibrata prima dell'uso, per soddisfare determinate condizioni riguardanti l'accuratezza, il campo di rilevamento, il tempo di risposta e il principio di funzionamento. Si dovrebbe considerare l'opportunità di eseguire misurazioni preliminari, in laboratorio o in loco, garantendo altresì la competenza del personale incaricato delle misurazioni. La figura 6 illustra i passaggi da seguire durante la fase di misurazione.

Figura 6 - Passaggi necessari, da considerare durante la fase di misurazione

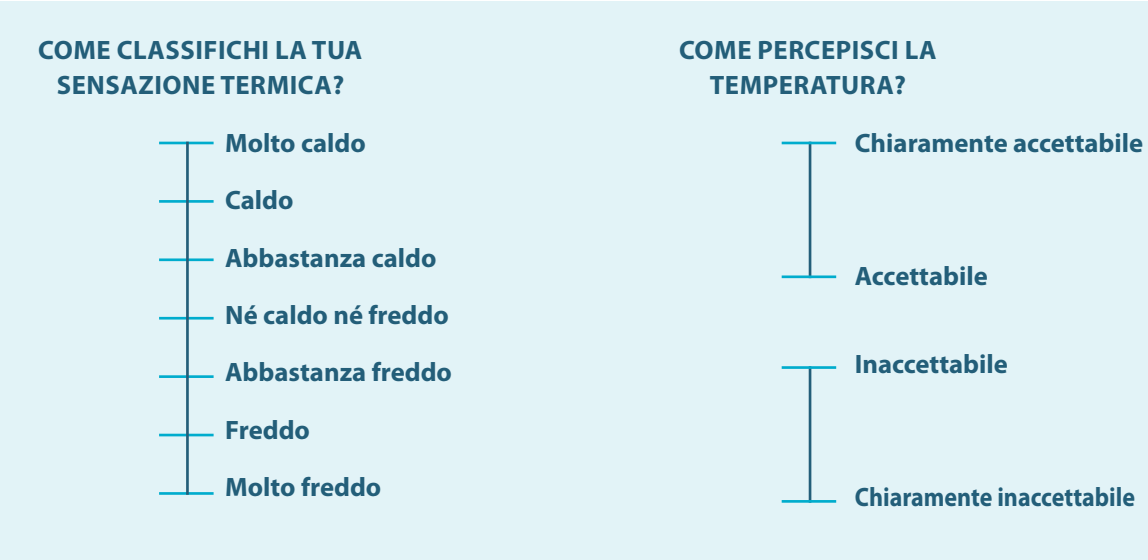


Il monitoraggio può precedere o seguire l'occupazione o la ristrutturazione di un edificio e può essere a breve o lungo termine, in base agli obiettivi previsti [7]. Le misure pre e post ristrutturazione sono importanti per garantire che gli interventi pianificati siano stati attuati come da progetto. Al fine di assicurare che l'edificio funzioni come previsto si dovrebbero considerare anche le misurazioni post abitative riguardanti tutti gli aspetti della IEQ. In particolare, le misurazioni della qualità dell'aria interna e della ventilazione possono includere il monitoraggio delle concentrazioni di CO_2 e del particolato. La temperatura, l'umidità relativa e la velocità dell'aria costituiscono attualmente i parametri principali da considerare per l'organizzazione di una campagna di misurazioni sulla IEQ; tuttavia, il rapido calo dei prezzi dei sensori consentirà, in un prossimo futuro, di includere nel monitoraggio anche i composti organici volatili e le particelle. Anche i livelli di illuminamento e i livelli medi di pressione sonora possono essere inseriti nel controllo.

VALUTAZIONI QUALITATIVE

Un considerevole numero di studi scientifici ha dimostrato che la soddisfazione, l'appagamento e lo stato di salute occupazionali sono influenzati in larga misura dal livello di comfort presente nell'ambiente di lavoro [37]. Per tale motivo, i sondaggi compiuti sugli occupanti rappresentano indicatori qualitativi indispensabili per assicurare il funzionamento soddisfacente di un edificio. Lo stesso vale per altri ambienti non composti da uffici, come edifici residenziali, scuole, ecc. I sondaggi condotti prima e dopo una ristrutturazione sono importanti per garantire che gli interventi siano stati attuati come previsto. Anche i sondaggi post abitativi, atti a valutare l'accettazione e la percezione generale della IEQ, sono importanti. Il sondaggio può contribuire anche a valutare gli effetti dei miglioramenti energetici. Raccomandazioni su questionari e linee guida sono riportate nella norma EN 15271 nella pubblicazione dell'ASHRAE 'Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings' [10] [38] [Protocolli di misura delle prestazioni per edifici commerciali] (Figura 7). Le domande sono mirate a ottenere informazioni su percezione, preferenze e accettazione delle condizioni interne all'edificio.

Figura 7 - Scale soggettive di percezione dell'ambiente termico (fonte: EN 15251: 2007)



Un esempio di strumento pratico per misurare il comfort e la soddisfazione sul luogo di lavoro è il Comfortmeter, risultato della collaborazione tra le autorità internazionali interessate a edifici per uffici efficienti, sostenibili e orientati alle prestazioni [35]. Si tratta di uno strumento di misurazione, in grado di offrire informazioni sul livello di comfort all'interno dell'edificio, oltre a stimare l'impatto dei punteggi ottenuti rispetto alla produttività dei dipendenti (€/anno). È anche possibile determinare il potenziale di miglioramento del comfort [37]. Collegare la qualità dell'aria interna a benefici e costi per il proprietario dell'edificio costituisce un passaggio essenziale per incrementare la conoscenza e l'interesse in materia.

REGOLAMENTI EDILIZI

Dopo aver definito gli aspetti principali dell'IEQ e gli indicatori per la valutazione dell'ambiente interno, il presente capitolo passa ad analizzare le disposizioni pertinenti, contenute nella Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD). Se da un lato l'EPBD (2010/31/UE) ha riconosciuto il concetto di 'clima degli ambienti interni' (tabella 3), indicando chiaramente il rapporto di interdipendenza tra l'efficienza energetica e il clima in questione, dall'altro non ha incluso requisiti e chiarimenti specifici in merito agli indicatori del clima interno né il modo per conseguire i risultati desiderati.

Nella norma EPBD (2018/844), recentemente modificata, sono presenti elementi relativi a salute, comfort, qualità dell'aria interna e condizioni climatiche degli ambienti interni; tuttavia, continuano a mancare dettagli relativi al raggiungimento degli obiettivi previsti. Dal momento che la legislazione europea risulta insufficiente, è importante comprendere il ruolo dei requisiti relativi al clima degli ambienti interni nei regolamenti nazionali, operando un confronto con gli standard tecnici europei e proponendo futuri miglioramenti basati su dati affidabili [39].

Tabella 3 - 'Clima degli ambienti interni' nella Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (fonte: EPBD 2010/31/UE)

Posizione nel testo	Testo
Premessa 8	'Le misure per l'ulteriore miglioramento della prestazione energetica degli edifici dovrebbero tenere conto delle condizioni climatiche e locali, nonché dell'ambiente termico interno e dell'efficacia sotto il profilo dei costi. Tali misure non dovrebbero influire su altre prescrizioni relative agli edifici quali l'accessibilità, la sicurezza e l'uso cui è destinato l'edificio'.
Premessa 9	'La prestazione energetica degli edifici dovrebbe essere calcolata in base ad una metodologia, che potrebbe essere differenziata a livello nazionale e regionale. Ciò comprende, oltre alle caratteristiche termiche, altri fattori che svolgono un ruolo di crescente importanza, come il tipo di impianto di riscaldamento e condizionamento, l'impiego di energia da fonti rinnovabili, gli elementi passivi di riscaldamento e rinfrescamento, i sistemi di ombreggiamento, la qualità dell'aria interna, un'adeguata illuminazione naturale e le caratteristiche architettoniche dell'edificio. Tale metodologia di calcolo dovrebbe tener conto della prestazione energetica annuale di un edificio e non essere basata unicamente sul periodo in cui il riscaldamento è necessario. Essa dovrebbe tener conto delle norme europee vigenti.'
Articolo 1: Oggetto	'La presente direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi.'
Articolo 2: Definizioni	'1. «edificio»: costruzione provvista di tetto e di muri, per la quale l'energia è utilizzata per il condizionamento del clima degli ambienti interni.'
Articolo 4: Fissazione di requisiti minimi di prestazione energetica	'Tali requisiti tengono conto delle condizioni generali del clima degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi quali una ventilazione inadeguata, nonché delle condizioni locali, dell'uso cui l'edificio è destinato e della sua età.'
ALLEGATO I: Quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici	'(h) condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato.'

La sottosezione seguente evidenzia gli elementi della Direttiva EPBD (2018/844) modificata, relativi al clima degli ambienti interni, mentre le sezioni successive contengono una sintesi dei requisiti in merito ad aspetti della IEQ in Europa.

ELEMENTI NUOVI NELLA DIRETTIVA MODIFICATA SULLA PRESTAZIONE ENERGETICA NELL'EDILIZIA

Verso la fine del 2016 la Commissione europea ha presentato un 'nuovo pacchetto di misure con l'obiettivo di fornire il quadro legislativo stabile necessario per facilitare la transizione verso l'energia pulita'. Il pacchetto comprende una revisione di otto direttive diverse, inclusa l'EPBD, la Direttiva sull'efficienza energetica e la Direttiva sulle energie rinnovabili [40].

Nell'EPBD (2018/844) sono stati inseriti alcuni elementi in merito al 'clima degli ambienti interni' (Tabella 4). In particolare, per quanto riguarda gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, gli Stati membri dovrebbero impegnarsi a garantire condizioni climatiche salubri per gli ambienti interni, mentre il fabbisogno energetico dovrebbe essere calcolato in modo da ottimizzare i livelli di salute, qualità dell'aria interna e comfort. In relazione al quadro generale per la valutazione della predisposizione degli edifici all'intelligenza, la Commissione definirà un apposito indicatore, oltre a sviluppare una metodologia che, tra le altre cose, terrà conto dei benefici per le condizioni climatiche degli ambienti interni. Uno degli aspetti essenziali da considerare riguarda la capacità dell'edificio di adattare la propria modalità di funzionamento in risposta alle esigenze degli occupanti, mantenendo condizioni climatiche salubri negli ambienti interni. La metodologia contenuta nell'EPBD (2018/844) dovrebbe considerare anche l'interoperabilità tra sistemi, inclusi contatori intelligenti, dispositivi autoregolanti per la temperatura dell'aria interna, sensori di qualità dell'aria interna e ventilazione.

Tabella 4: 'Clima degli ambienti interni' nella Direttiva modificata sulla prestazione energetica nell'edilizia (2018/844)

Posizione nel testo	Testo
Nuova premessa	'(11A) Per i nuovi edifici e gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, gli Stati membri dovrebbero incoraggiare sistemi alternativi ad alta efficienza, se tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile, occupandosi anche delle questioni relative alle condizioni di benessere climatico degli ambienti interni, alla sicurezza in caso di incendi e attività sismica, conformemente alla normativa in materia di sicurezza domestica.'
Nuova premessa	'(11B) Le linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità del 2009 stabiliscono che, per quanto concerne la qualità dell'aria interna, edifici più efficienti offrono maggiore comfort e benessere agli occupanti e migliorano la salute. I ponti termici, l'inadeguatezza dell'isolamento e le infiltrazioni d'aria possono generare temperature superficiali al di sotto della temperatura di rugiada dell'aria, oltre che umidità. È fondamentale pertanto garantire un isolamento completo e omogeneo dell'edificio, compresi i balconi, le finestre, i tetti, i muri, le porte e i pavimenti, ed è opportuno prestare particolare attenzione a evitare che la temperatura di una qualsiasi superficie interna dell'edificio scenda al di sotto della temperatura di rugiada.'
Nuova premessa	'(12) Gli Stati membri dovrebbero promuovere miglioramenti della prestazione energetica degli edifici esistenti che contribuiscano a creare un ambiente interno salubre, tra le altre cose rimuovendo l'amianto e le altre sostanze nocive, prevenendo la rimozione illegale delle sostanze nocive e favorendo il rispetto della normativa vigente, tra cui le direttive 2009/148/CE (1) e (UE) 2016/2284 (2).'
Nuovo: Articolo 7, paragrafo 5	'Per gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, gli Stati membri dovrebbero incoraggiare sistemi alternativi ad alta efficienza, se tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile, occupandosi anche delle questioni relative alle condizioni di benessere climatico degli ambienti interni, alla sicurezza in caso di incendi e ai rischi connessi all'intensa attività sismica.'
Nuovo: Allegato I, punto 2	'2. Il fabbisogno energetico per il riscaldamento degli ambienti, il rinfrescamento degli ambienti, la produzione di acqua calda per uso domestico, la ventilazione, l'illuminazione e altri sistemi tecnici per l'edilizia è calcolato in modo da ottimizzare il livello di benessere, la qualità dell'aria interna e il comfort, come definiti dagli Stati membri a livello nazionale o regionale.'
Allegato Ibis	'Quadro generale comune per la valutazione della predisposizione degli edifici all'intelligenza' 1. La Commissione stabilisce la definizione dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza e una metodologia per valutare le capacità di un edificio o di un'unità immobiliare di adattare il proprio funzionamento alle esigenze dell'occupante e della rete e di migliorare la sua efficienza energetica e le prestazioni generali. … La metodologia considera tecnologie come i contatori intelligenti, i sistemi di automazione e controllo degli edifici, i dispositivi autoregolanti per il controllo della temperatura dell'aria interna, gli elettrodomestici incorporati, i punti di ricarica per veicoli elettrici, l'accumulo di energia, nonché le funzionalità specifiche e l'interoperabilità di tali sistemi, oltre ai benefici per le condizioni climatiche degli ambienti interni, l'efficienza energetica, i livelli di prestazione e la flessibilità così consentita. 2. La metodologia si basa su tre funzionalità chiave relative all'edificio e ai suoi sistemi tecnici per l'edilizia: … (b) la capacità di adattare la propria modalità di funzionamento in risposta alle esigenze dell'occupante, prestando la dovuta attenzione alla facilità d'uso, al mantenimento di condizioni di benessere igrotermico degli ambienti interni e alla capacità di comunicare dati sull'uso dell'energia; … 3. La metodologia può altresì considerare: - l'interoperabilità dei sistemi (contatori intelligenti, sistemi di automazione e controllo dell'edificio, elettrodomestici incorporati, dispositivi autoregolanti per il controllo della temperatura interna nell'edificio, sensori di qualità dell'aria interna e ventilazione) …

REQUISITI IN MERITO AI PARAMETRI IEQ A LIVELLO NAZIONALE

Requisiti di ventilazione

Un certo numero di Stati membri applica regolamenti in materia di ventilazione. I requisiti sul tasso di ventilazione negli Stati membri sono espressi in unità diverse, che vanno dai ricambi d'aria all'ora, alla portata d'aria per la superficie del locale fino alla portata d'aria per numero di occupanti. Questo approccio disomogeneo rende estremamente arduo il confronto tra i vari regolamenti. L'armonizzazione potrebbe facilitare il confronto incrociato, con un ulteriore miglioramento della IEQ nella UE, oltre a consentire l'elaborazione di un approccio sistematico per la definizione di indici e metriche.

Secondo uno studio condotto nel 2015 da BPIE sui regolamenti di edilizia residenziale in otto Stati membri UE, con particolare attenzione per la qualità dell'aria interna, il comfort termico e l'illuminazione, metà dei paesi (Belgio, Danimarca, Francia e Svezia) ha fissato soltanto requisiti minimi di ventilazione, mentre l'altra metà applica unicamente i tassi minimi di ventilazione raccomandati (Germania, Italia, Polonia, Regno Unito) [1]. Inoltre, ognuno dei paesi suddetti utilizza standard propri (ad es. Regno Unito: Approved Doc F, Germania: DIN 1946-6) e fissa autonomamente i tassi minimi di ventilazione, diversi dagli standard UE della norma EN 15251. La tabella 5 illustra i requisiti eterogeni relativi al tasso di ventilazione, previsti dai regolamenti nazionali nell'UE. Requisiti minimi di ventilazione sono stati introdotti dalla maggior parte degli Stati membri UE; tuttavia, in alcuni casi, si tratta di requisiti non legalmente vincolanti e comunque inferiori ai livelli di comfort [21]. In particolare, alcuni paesi non applicano ancora valori legali in merito ai tassi di ventilazione e utilizzano valori facoltativi, desunti dagli standard, ad es. in Germania e Ungheria i tassi di ventilazione sono calcolati conformemente alla norma europea EN 15251. Inoltre, il requisito in materia di ventilazione delle abitazioni è inferiore al minimo ricambio d'aria di 0,5 vol/h in circa un terzo dei paesi europei [21].

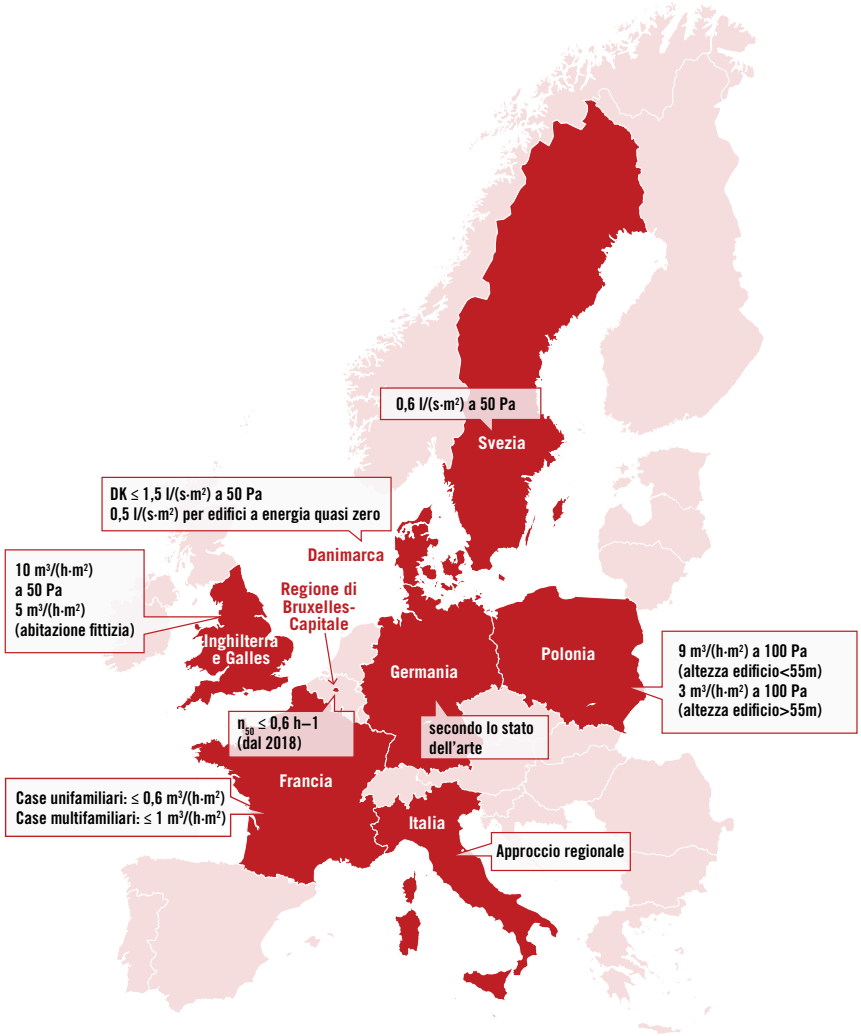
Tabella 5 - Requisiti di ventilazione negli edifici residenziali dei paesi UE (fonti: rapporto HEALTHVENT WP5 citato in JRC 2016, rapporto BPIE su Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight [Qualità dell'aria interna, comfort termico e luce naturale])

Paese (riferimento)	Tasso minimo di ricambio dell'aria per gli edifici residenziali
Bulgaria (Reg.: 15/28.07.2005)	CEN/CR 1752: 4 l/s/p
Repubblica Ceca (CSN EN 15665)	0,3 vol/h
Finlandia (Reg. edilizi Parte D2 Clima degli ambienti interni e ventilazione 2010)	0,5 vol/h e 6 l/s/p
Francia (dal 1982, modificato nel 1983)	1 vano: 35 m^3/h, 2 vani: 60 m^3/h, 3 vani: 75 m^3/h, 4 vani: 90 m^3/h, 5 vani: 105 m^3/h
Germania (DIN 1946-6:2008)	55 m^3/h (30m2) … 215 m^3/h (210m^2)
Grecia (TOTEE, 2425/86, 20701-4/2010, 20701-1/2010, KENAK, Legge 3661)	0,7 vol/h
Ungheria (EN15251)	0,42 l/s/m^2
Italia (Dlgs 192/2005, DPR 59/2009, DM 18/12/1975)	0,3 vol/h
Lituania (STR. 2.09.02:2005, HN 42:2004)	0,5 vol/h
Paesi Bassi (Regolamento edilizio olandese 2012)	0,9 l/s/m^2 (zona giorno), 0,7 l/s/p (ciascun vano)
Norvegia (Legge sulla regolamentazione edilizia, normative tecniche TEK2010)	Occupato: 1,2 m^3/h/m^2
Non occupato: 0,7 m^3/h/m^2	
Polonia (PN-83/B-0340Az3:2000)	Somma complessiva dei flussi estratti
Portogallo	0,6 vol/h
Romania (15 Normative)	Identico alla Francia
Slovenia (ULRS 42/2002 SIST DIN 1946-6)	0,5 vol/h
Regno Unito (UK Building regulations Part F-2010)	1 camera da letto: 13 l/s, 2 camere da letto: 17 l/s, 3 camere da letto: 21 l/s
Danimarca (BR10)	Min. 0,3 l/s/m^2 (alimentazione)
Svezia (BFS2014:13-BBR21)	Min. 0,35 l/s/m^2 (alimentazione)
Belgio (NBN D 50-001)	3,6 m^3/h/m^2

Requisiti di ermeticità

L'ermeticità degli edifici si può definire come la resistenza dell'involucro dell'edificio al passaggio dell'aria verso l'interno o l'esterno e ha un impatto significativo sulla prestazione energetica nell'edilizia. Sebbene il concetto di ermeticità sia incluso nelle normative sulla prestazione energetica, esistono differenze significative tra gli Stati membri in riferimento alla relativa applicazione. In particolare, per taluni paesi l'ermeticità può essere dimostrata unicamente tramite misurazioni (blower-door test), mentre altri paesi consentono l'uso di approcci alla gestione della qualità (Francia) [39]. Inoltre, i requisiti di ermeticità sono espressi con unità diverse, che variano da litri al secondo per superficie del locale (l/s/m^2) a volume all'ora (m^3/h). Ci sono paesi che applicano requisiti minimi di ermeticità o considerano la perdita massima dell'involucro (Danimarca, Francia, Belgio, Germania, Regno Unito e Svezia) (Figura 8) [1]. Per altri paesi, le prove di ermeticità sono facoltative e di uso comune quando si richiedono sussidi finanziari o attestati di prestazione energetica in classi elevate [1] [21].

Figura 8 - Requisiti di ermeticità in Europa (fonte: BPIE, 2015, Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight)



Requisiti in materia di inquinanti dell'aria interna

I requisiti sulla qualità dell'aria interna sono inclusi nei regolamenti in materia di ventilazione di alcuni paesi UE. Data la mancanza di un quadro orientativo comune a livello europeo, i valori limite e il numero degli inquinanti considerati nei regolamenti variano da paese a paese (tabella 6) [21]. Anche il periodo medio varia e solo alcuni inquinanti sono inclusi nei regolamenti nazionali. I valori limite degli inquinanti atmosferici non sono specificati nei regolamenti di molti paesi e, spesso, sono superiori a quelli raccomandati nelle linee guida dell'OMS.

Tabella 6 - Valori limite degli inquinanti atmosferici in diversi paesi (fonte: REHVA, Indoor air quality and energy efficiency [Qualità dell'aria interna ed efficienza energetica], Seppänen 2013)

	CHI	Finlandia	Lituania	Norvegia	Portogallo	Romania	Slovenia
Ammoniaca (µg/m³)	-	20	40	-	-	-	50
Amianto	-	0 fibre/cm	0,1 mg/m³	0,1 fibre/cm	-	-	-
CO (mg/m³)	7[#2]	8	3	10[#5]	12,5	6[#3]	10
CO_2 (ppm)	-	1200	-	1000	1000	-	1670
Formaldeide (µg/m³)	100	50	10	100[#3]	100	35[#3]	100
NO_2 (µg/m³)	40	-	40	100[#4]	-	-	-
Ozono (µg/m³)	0.1[#5]	-	0,03	-	0,2	-	0,1
PM10 (µg/m³)	20	50	50	-	150	-	100
Radon (Bq/m³)	-	200[#1]	-	100	400	140[#6]	400
Stirene (µg/m³)	-	1	2	-	-	-	-

n.1 = media annuale; n.2 = media giornaliera; n.3 = media 30 min.; n.4 = media 1 h; n.5 = media 8h; n.6 = mix istantaneo

Requisiti in materia di comfort termico e rumore

Anche i requisiti in materia di comfort termico non sono coerenti nei diversi paesi, con limiti delle temperature che variano da 25 a 28°C in estate e da 18 a 21°C in inverno (tabella 7).

Tabella 7 - Requisiti di temperatura negli edifici residenziali dei paesi UE (fonti: rapporto HEALTHVENT WP5 citato in JRC 2016)

Paese (riferimento)	Limiti di temperatura per estate e inverno (°C)
Repubblica Ceca (Regolamento 148/2006)	-
Finlandia (Reg. edilizi Parte D2 Clima degli ambienti interni e ventilazione 2010)	25 e 21
Francia	Nessun limite in estate e 18
Germania (EN 15251/ DIN 4109, VDI 2081)	26 e 20
Grecia (TOTEE, 2425/86)	26 e 20
Ungheria (EN15251)	26 e 20
Italia (UNI 10339)	Nessun limite in estate e 20
Lituania (HN 33: 2007)	24,5±1,5 e 22±2
Paesi Bassi (Regolamento edilizio olandese 2012)	-
Norvegia (NS 8175)	-
Polonia (PN EN 15251)	-
Romania (15 Normative EN 15251)	25,5-27 e 18-21
Slovenia (ULRS 07/2001)	26 e 19
Regno Unito (UK Building regulations Part F/ CIBSE)	28 e 19
Danimarca (DS474, 1993)	Limiti di surriscaldamento: Non più di 100 ore al di sopra di 26°C e non più di 25 ore al di sopra di 27°C
Svezia (Regolamento edilizio svedese)	Temperatura operativa minima per le abitazioni: 18°C e 20°C per abitazioni occupate da persone anziane
Belgio (Bruxelles)	Limiti di surriscaldamento: Le temperature superiori a 25°C devono essere limitate al 5% del tempo durante l'anno

Cinque degli otto paesi considerati nello studio di BPIE (2015) prevedevano temperature minime durante l'inverno (Polonia, Germania, Svezia, Francia, Regno Unito), mentre cinque paesi applicavano limitazioni al surriscaldamento in estate (Belgio, Danimarca, Germania, Francia, Regno Unito) [1]. Lo stesso studio indicava che i guadagni solari minimi in inverno erano richiesti solo dai regolamenti edilizi danesi, mentre quelli svedesi raccomandavano l'uso di sistemi di gestione della luce naturale per gli apparecchi di illuminazione installati. Anche il livelli di rumore variano tra i diversi paesi UE sia in termini di unità sia di valori limite (tabella 8) [21].

Tabella 8 - Requisiti in materia di rumore negli edifici residenziali dei paesi UE (fonti: rapporto HEALTHVENT WP5 citato in JRC 2016)

Paese (riferimento)	Valori limite per il rumore della ventilazione nelle camere da letto degli edifici residenziali
Repubblica Ceca (Regolamento 148/2006)	40 dB(A)
Finlandia (Reg. edilizi Parte D2 Clima degli ambienti interni e ventilazione 2010)	28 dB(A)
Francia	30 dB(A)
Germania (EN 15251/ DIN 4109, VDI 2081)	35 dB(A)
Grecia (TOTEE, 2425/86)	NR 25
Ungheria (EN15251)	26 dB(A)
Italia (UNI 10339)	35 dB(A)
Lituania (HN 33: 2007)	35 dB(A)
Paesi Bassi (Regolamento edilizio olandese 2012)	30 dB(A)
Norvegia (NS 8175)	35 dB(A)
Polonia (PN EN 15251)	26 dB(A)
Romania (15 Normative EN 15251)	26 dB(A)
Slovenia (ULRS 07/2001)	giorno/notte: LAF, max: 35/30 dB(A), Leq: 40/35 dB(A)
Regno Unito (UK Building regulations Part F/ CIBSE)	NR 25

OPPORTUNITÀ PER RECEPIRE L'IMPORTANZA DELLA IEQ NELLE POLITICHE NAZIONALI E UE

Considerando le lacune nei regolamenti edilizi europei esistenti, esistono maggiori opportunità a livello nazionale; di conseguenza, è necessario sviluppare approcci volti a integrare la IEQ nei quadri politici nazionali.

Per raggiungere tale obiettivo, sono state individuate quattro opportunità principali:

- strategie di ristrutturazione a lungo termine (EPBD 2018/844: articolo 2bis (g), (c));
- attestati di prestazione energetica (APE) (EPBD 2018/844: articolo 19, articolo 20, 2);
- indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza (EPBD 2018/844: Allegato Ibis) e
- conformità e misure di controllo della qualità (EPBD 2018/844: articolo 14 e articolo 15) (Figura 9).

Figura 9 - Opportunità d'integrazione della IEQ nei regolamenti nazionali

STRATEGIE DI RISTRUTTURAZIONE A LUNGO TERMINE

L'obiettivo di una strategia di ristrutturazione a lungo termine è 'sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero' [12]. Si tratta di un obbligo che i governi sono tenuti a rispettare.

Non considerare la IEQ, nel caso di edifici nuovi o rimodernati, può portare alla realizzazione di costruzioni ermetiche ma con ventilazione insufficiente. La conseguenza è un possibile surriscaldamento o incremento degli inquinanti dell'aria interna, con implicazioni per la salute e il benessere.

Per tale motivo, al momento di definire le strategie di ristrutturazione, l'obiettivo dovrebbe essere ridurre il consumo energetico degli edifici senza compromettere comfort, salute e benessere delle persone che vivono all'interno, in modo da ottimizzare sia i costi edilizi sia quelli sociali [41].

Com'è possibile integrare la IEQ nelle strategie di ristrutturazione nazionali?

Le politiche interne alle strategie di ristrutturazione edilizia dovrebbero garantire che:

- la IEQ sia presa in considerazione anche attraverso strumenti di sostegno appositi (ad es. i passaporti di ristrutturazione degli edifici), che diano agli Stati membri la flessibilità per decidere quale segmento del settore edilizio desiderino affrontare per primo e come [42].

- Oltre a supportare talune strategie di ristrutturazione, gli Stati membri dovrebbero evidenziare l'impatto che tali specifiche misure possono avere sia sulla prestazione energetica dell'edificio sia sulla IEQ (si veda la tabella 9). L'impegno consiste anche nel favorire la sensibilizzazione riguardo all'importanza e ai benefici di una IEQ di buon livello.

Le strategie di ristrutturazione a lungo termine, sviluppate dagli Stati membri, sono un'opportunità per migliorare la qualità di vita dei cittadini attraverso l'integrazione di aspetti riguardanti la IEQ (Figura 10) [8]. Negli ultimi dieci anni, si è registrato un trend crescente di studi scientifici atti a dimostrare i benefici significativi sulla salute, garantiti dalla riqualificazione dell'efficienza energetica orientata alla IEQ (qualità dell'aria interna, comfort termico, ecc.) [43] [22] [23]. A supporto di queste considerazioni, l'articolo 2bis 1 (f) della Direttiva EPBD modificata ricorda che le strategie di ristrutturazione a lungo termine dovrebbero comprendere 'benefici in senso lato, come quelli connessi alla salute, alla sicurezza e alla qualità dell'aria'. Di conseguenza, la IEQ dovrebbe essere integrata nell'attuazione nazionale della ristrutturazione a lungo termine, riconoscendo come la ristrutturazione profonda abbia benefici di vasta portata per la società e la spesa pubblica. L'incremento del comfort interno e della qualità dell'aria può determinare una riduzione delle malattie e delle morti premature, associate alla permanenza in abitazioni fredde e umide, con un conseguente decremento delle richieste di assistenza sanitaria e servizi sociali [8]. Per la maggior parte, le strategie di ristrutturazione non affrontano questioni al di fuori dell'efficienza energetica, come la IEQ [44], sebbene la IEQ e l'efficienza energetica possano essere conseguite simultaneamente [22]. Trascurare la IEQ, pianificando una ristrutturazione, può avere come conseguenza il degrado dell'edificio. Per esempio, in Danimarca e Svezia, in risposta alla crisi del petrolio negli anni '70, le abitazioni venivano costruite in modo da risultare ermetiche, con una ventilazione inadeguata, oltre che con finestre piccole e luce naturale insufficiente. L'esito è stato quello di avere ambienti interni di scarsa qualità. Al contrario, la ristrutturazione dovrebbe essere vista come un'opportunità di migliorare la qualità dell'aria interna, il comfort e la qualità di vita degli occupanti dell'edificio, conseguendo allo stesso tempo una prestazione energetica di alto livello [41].

Figura 10 - Ristrutturazione di edilizia sociale ad Anderlecht secondo il progetto RenovActive (fonte: VELUX, progetto RenovActive)

Prima

Dopo

Tabella 9 - Impatti previsti su energia e IEQ in conseguenza della ristrutturazione (fonte: Noris et al., 2013)

Riqualificazione	Impatti energetici	Impatti IEQ
Involucro ermetico	Riduce riscaldamento e rinfrescamento	Riduce l'ingresso degli inquinanti da altri appartamenti e aree comuni Riduce la ventilazione di aria esterna potenzialmente nociva per la qualità dell'aria interna
Sostituire la ventola del bagno	Un motore più efficiente diminuisce il consumo di elettricità Maggiore uso potenziale, aumenta la domanda di riscaldamento e rinfrescamento	Riduce il rumore della ventola Migliora l'eliminazione degli inquinanti e dell'umidità della cucina (se il sistema è in uso)
Sostituire lo scaldabagno a tiraggio naturale con uno scaldabagno a combustione forzata	Riduce il consumo energetico dello scaldabagno	Riduce il rischio di inquinanti derivanti dalla combustione e l'umidità (se il sistema è in uso)
Posizionare un ventilatore portatile	Riduce la domanda di rinfrescamento negli appartamenti con impianto di condizionamento	Migliora il comfort termico
Sostituire la cucina a gas dotata di fiamma pilota permanente con una cucina ad accensione elettronica	Riduce l'uso di gas naturale Riduce la domanda di rinfrescamento, aumenta la domanda di riscaldamento	Elimina gli inquinanti interni dalla fiamma pilota
Sostituire le tubature HVAC e sigillare il plenum di ritorno	Riduce la domanda di riscaldamento e rinfrescamento	Riduce l'aspirazione di inquinanti da altri appartamenti, soffitte, ecc. Può migliorare il comfort termico
Sostituire porte e finestre scorrevoli a vetro singolo	Riduce la domanda di riscaldamento e rinfrescamento	Riduce gli spifferi di aria fredda e le perdite di calore radiante, migliorando il comfort
Aggiungere isolamento	Riduce la domanda di riscaldamento e rinfrescamento	Migliora il comfort termico e riduce la trasmissione di rumore
Installare un filtro HEPA	Aumenta il consumo di elettricità	Riduce i livelli delle particelle nell'ambiente interno

Riformare la metodologia dell'ottimalità dei costi nell'EPBD

L'attuale metodologia è limitata e trascura molti dei guadagni sociali legati alla maggiore salubrità di edifici a energia quasi zero. L'integrazione di tali guadagni potrebbe incrementare il tasso di ristrutturazione nella UE a 28, accelerando la trasformazione di edifici malsani, scomodi e inefficienti dal punto di vista energetico in edifici salubri, confortevoli e a energia quasi zero.

Per dare maggiore rilevanza alla metodologia dell'ottimalità dei costi, si dovrebbero includere parametri atti a valutare gli impatti su salute, comfort, produttività e IEQ. Oltre ai risparmi sui costi, derivanti dall'applicazione di tecnologie efficienti sotto il profilo energetico, i potenziali benefici potrebbero riguardare anche le minori spese nel settore sanitario, grazie al miglioramento dell'ambiente interno, all'incremento della produttività e del benessere e alla riduzione delle assenze dal lavoro [21]. Edifici con un ambiente interno soddisfacente possono portare a una riduzione delle spese sanitarie, oltre a costituire un modo per affrontare la povertà energetica [20].

Secondo un numero crescente di studi, assicurare una buona qualità dell'aria interna in edifici nuovi altamente efficienti o ristrutturati secondo criteri di efficienza energetica garantisce benefici significativi per la salute. Un rapporto pubblicato dal Centro comune di ricerca (JRC) sul tema 'Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union' [Promuovere edifici salubri ed efficienti sotto il profilo energetico nell'Unione Europea] illustra come vari studi europei abbiano quantificato i benefici in termini di migliore qualità di vita, minori assenze dal lavoro, riduzione della spesa pubblica e migliore conduttività ma non in modo sistematico o in base a un quadro comune. Secondo le stime, i risparmi sui costi, derivanti dai benefici per la salute, sono paragonabili a quelli dei soli risparmi energetici [21]. Sebbene il comfort termico, la qualità dell'aria interna, i livelli adeguati di illuminazione naturale e l'acustica siano tra i principali fattori di stimolo e tra i maggiori benefici della ristrutturazione, la riqualificazione energetica si applica spesso senza considerare l'esigenza di valutarne l'impatto sulla IEQ nel suo complesso [45] [46].

ATTESTATI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Gli Attestati di prestazione energetica (APE) costituiscono parte integrante dell'EPBD, oltre a essere uno strumento importante per incrementare la prestazione energetica nell'edilizia, e, secondo l'articolo 19 dell'EPBD recentemente modificata, dovrebbero essere ulteriormente migliorati [9].

Perché gli APE rappresentano un'opportunità per integrare la IEQ

Il principale obiettivo dell'APE è quello di essere utilizzato come strumento informativo per futuri proprietari, locatari, occupanti e attori del settore immobiliare (articolo 20, 2). Per tale motivo, gli APE possono costituire un potente strumento di mercato, per stimolare la richiesta di edifici efficienti sotto il profilo energetico, fino a farne un criterio decisionale nelle operazioni immobiliari, oltre a fornire raccomandazioni per il potenziamento efficiente od ottimale della prestazione energetica dal punto di vista dei costi [9]. Al fine di non compromettere la salute e il benessere degli occupanti, le raccomandazioni sulle opportunità di ristrutturazione non dovrebbero trascurare gli aspetti riguardanti la IEQ. Gli APE sono tra le fonti d'informazione più importanti in materia di prestazione energetica del parco immobiliare dell'UE e potrebbero diventare strumenti efficaci per tracciare la prestazione energetica nell'edilizia e le condizioni complessive della IEQ.

Com'è possibile integrare la IEQ negli APE?

Sebbene l'incremento del comfort termico e della qualità dell'aria, i livelli più elevati di illuminazione naturale e il miglioramento della salute degli occupanti siano tra i benefici più importanti e tra i maggiori fattori di stimolo per la ristrutturazione, per la gran parte non vengono considerati negli APE. Di conseguenza, la rilevanza degli APE per i proprietari (inclusi quelli potenziali) e la relativa capacità di stimolare la ristrutturazione degli edifici sono limitate. I miglioramenti dell'efficienza energetica e della IEQ sono interconnessi e possono essere conseguiti simultaneamente [47]. Unitamente al passaporto di ristrutturazione degli edifici (EBPD III: articolo 19a), un documento atto a delineare una tabella di marcia per la ristrutturazione a lungo termine e in fasi successive, con l'obiettivo di conseguire una ristrutturazione profonda per uno specifico edificio [48], gli APE potrebbero includere aspetti della IEQ basati su dati

affidabili. I passaporti di ristrutturazione degli edifici mettono a disposizione una serie esaustiva di indicatori rilevanti (ad es. consumo energetico, emissioni di CO_2) e includono una dimensione dinamica, fornendo informazioni dettagliate in merito alle fasi di miglioramento raccomandate e stimolando, in tal modo, ristrutturazioni profonde o per fasi successive [49]. Gli aspetti della IEQ, basati su dati affidabili, potrebbe essere desunti da misurazioni, esiti di sondaggi con interviste agli occupanti (figura 11) e/o simulazioni al computer (figura 12) [10]. Le misurazioni e i sondaggi dovrebbero avere luogo prima e dopo le ristrutturazioni, al fine di garantire che i miglioramenti dell'efficienza energetica (ristrutturazioni) non compromettano la qualità dell'ambiente interno. Talune misurazioni, come l'ermeticità della struttura dell'edificio, potrebbero essere integrate nell'APE (stato IEQ dell'edificio).

Figura 11 - Esempio di classificazione soggettiva dell'ambiente interno (fonte: EN 15251:2007)

Classificazione basata sulle risposte degli occupanti	Percentuale						
Persone che considerano l'ambiente termico accettabile	85						
Persone che considerano la qualità dell'aria interna accettabile	80						
Distribuzione in base ai voti sulla sensazione termica	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
	0	5	10	53	20	10	2
Distribuzione delle preferenze sulle temperature	Più fresca			Invariata		Più calda	
	20			75		5	

Figura 12 - Classificazione dell'ambiente termico e della qualità dell'aria interna (fonte: EN 15251:2007)

Qualità dell'ambiente interno in % di tempo in quattro categorie				
Percentuale	5	7	68	20
Ambiente termico	IV	III	II	I
Percentuale	7	7	76	10
Qualità dell'aria interna	IV	III	II	I

Per esempio, le condizioni di comfort e la IEQ sono appena menzionate nell'APE greco, dove l'esperto che rilascia il documento spunta le caselle pertinenti, relative a qualità dell'aria interna, comfort termico, luminoso e acustico. Tuttavia, non è presente alcuna indicazione in merito a come raggiungere i parametri IEQ indicati (Figura 13).

Figura 13 - Parte tradotta dell'APE greco con indicazione della IEQ

Condizioni di comfort e qualità dell'ambiente interno			
Comfort termico ☐	Comfort luminoso ☐	Comfort acustico ☐	Qualità dell'aria interna ☐

La prestazione energetica di un edificio si determina in base al consumo annuo di energia, calcolato per soddisfare il fabbisogno associato al relativo uso, in modo da conseguire il comfort termico e acustico

Numerosi ricercatori hanno sottolineato la necessità di una metrica/un indice dell'ambiente interno complessivo, che potrebbe consistere di diversi parametri fisici, da presentare unitamente all'attestato energetico [47] [50]. Vari studi raccomandano metodi per la valutazione della IEQ mediante l'uso di sistemi di classificazione/punteggio. Per esempio, il 'Dwelling Environmental Quality Index' (DEQI) [Indice di qualità ambientale delle abitazioni] mira a migliorare l'efficienza energetica sulla base del comportamento umano nell'edilizia sociale. DEQI dovrebbe assistere famiglie e gestori di immobili nell'individuazione di potenziali anomalie relative all'ambiente interno, assicurando allo stesso tempo che la IEQ non venga compromessa durante i processi di risparmio energetico [47]. L'indice riflette la IEQ in un singolo valore, è basato sui tre parametri principali dell'ambiente interno (temperatura, umidità relativa e concentrazioni di CO2) e risulta conforme alla norma UE EN 15251:2007.

Esempi da considerare

Un ulteriore miglioramento del processo di certificazione potrebbe riguardare l'evoluzione dell'APE verso un attestato più esaustivo (ad es. EPC+ nelle Fiandre). Il documento potrebbe comprendere diversi aspetti del concetto di edifici sostenibili al di là dell'energia, come la IEQ, la salute, il benessere, il comfort, il livello di intelligenza ecc. Il sistema DGNB, il WELL Building Standard e l'Active House (si veda di seguito) sono iniziative da cui trarre ispirazione e che includono aspetti socioculturali, verifica delle prestazioni, salute e ricertificazione.

È fondamentale che i professionisti qualificati, incaricati di rilasciare l'APE esteso o un certificato olistico sulle prestazioni dell'edificio, siano in possesso della relativa esperienza e formazione, oltre che per quanto riguarda le questioni inerenti all'energia, anche per tutti gli aspetti della IEQ, del benessere e dell'efficacia in termini di costi.

Sistema DGNB

Il Consiglio tedesco per l'edilizia sostenibile ha sviluppato un sistema di certificazione facoltativo, il sistema DGNB. Il sistema, applicato in ambito internazionale, valuta la sostenibilità di edifici e distretti urbani, verificandone la qualità lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio. La certificazione considera diversi criteri di sostenibilità, tra i quali l'ecologia, l'economia, gli aspetti socio-culturali, ecc. [55].

WELL Building Standard

Il WELL Building Standard è un sistema di certificazione facoltativo, che verifica possibili modi di ottimizzare la progettazione, le operazioni e il comportamento umano all'interno degli spazi, al fine di migliorare la salute e il benessere delle persone. WELL considera sette punti fondamentali: aria, acqua, alimentazione, illuminazione, movimento, comfort e benessere psicofisico. Lo standard si basa su prestazioni verificate e, al fine di mantenere la certificazione, i progetti devono essere sottoposti a una ricertificazione, dimostrando che il funzionamento dell'edificio continui a rispettare i requisiti previsti [56].

Active House

L'etichetta Active House è un marchio di qualità a livello mondiale per edifici confortevoli e sostenibili. Active House offre consulenza su elementi importanti per la vita delle persone e le abitazioni in cui vivono, mentre la relativa etichetta viene rilasciata per gli edifici che soddisfano requisiti specifici di comfort interno, efficienza energetica e ambiente. La sua visione contempla la creazione di edifici più salubri e confortevoli per chi vi abita, senza compromettere il clima. Active House definisce obiettivi a lungo termine per il parco immobiliare del futuro con il proposito di unire le parti interessate, considerando la progettazione e le prestazioni degli edifici sulla base di un approccio olistico. Propone un sistema di riferimento per la progettazione e la ristrutturazione degli edifici, che contribuisca alla salute e al benessere delle persone. L'attenzione è focalizzata sull'ambiente interno ed esterno e sull'energia rinnovabile, secondo tre principi combinati: comfort, energia e ambiente [58].

INDICATORE DI PREDISPOSIZIONE DEGLI EDIFICI ALL'INTELLIGENZA

Un edificio intelligente è estremamente efficiente sotto il profilo energetico e in grado di coprire, in larga misura, la propria ridotta domanda di energia mediante fonti rinnovabili presenti in loco o a livello distrettuale. Un edificio intelligente (i) consolida e favorisce una decarbonizzazione più rapida del sistema energetico attraverso lo stoccaggio di energia e la flessibilità della domanda; (ii) conferisce autonomia e responsabilità a utenti e occupanti grazie al controllo dei flussi energetici e (iii) riconosce le esigenze di utenti e occupanti in termini di comfort, salute, qualità dell'aria interna e sicurezza nonché di requisiti operativi e risponde di conseguenza [51]. In quanto parte dell'EPBD modificata, la Commissione europea definirà, nell'Allegato Ibis, un indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza, oltre a fissare una metodologia che, tra le altre cose, terrà conto dei benefici per le condizioni climatiche degli ambienti interni. Al fine di valorizzare gli edifici intelligenti, l'indicatore deve orientare il mercato in tale direzione, fornendo allo stesso tempo informazioni significative sul potenziale dell'edificio per i futuri nuovi locatari o acquirenti [11].

Perché l'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza è un'opportunità per integrare la IEQ

Individuare e promuovere i benefici degli edifici intelligenti per utenti e occupanti (ad es. risparmi sui costi, una IEQ ottimale), per il sistema energetico (ad es. minore pressione sui mercati dell'energia), per l'economia (ad es. creazione di posti di lavoro locali) e per la società nel suo complesso (ad es. affrontando i cambiamenti climatici, riducendo l'inquinamento atmosferico) deve essere l'obiettivo implicito per l'introduzione di un indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza [11]. Inoltre, l'attuazione della metodologia quadro generale riguardante tale indicatore dovrebbe prevedere l'integrazione di aspetti della IEQ, come la qualità dell'aria interna. Ciò garantirebbe che gli edifici siano in grado di adattare il proprio funzionamento alle esigenze essenziali degli occupanti in materia di salute, benessere e produttività.

Com'è possibile integrare la IEQ nell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza?

Gli edifici intelligenti non devono limitarsi a essere efficienti dal punto di vista energetico e salubri, ma anche riconoscere le esigenze di utenti e occupanti per quanto riguarda l'ottimizzazione di comfort, qualità dell'aria interna, benessere e requisiti operativi, rispondendo di conseguenza [11]. L'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza dovrebbe evidenziare la capacità di un edificio o dei relativi sistemi di percepire, interpretare, comunicare, interagire con gli occupanti e contribuire a un funzionamento ottimale delle risorse energetiche disponibili. L'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza dovrebbe essere mirato a migliorare la qualità di vita degli occupanti, oltre a garantire il funzionamento efficiente degli edifici, per esempio limitando le ispezioni in base alla segnalazione degli eventuali problemi riscontrati. La proposta attuale riguarda lo sviluppo di un indicatore IEQ di facile uso e basato sulle prestazioni, da integrare nella metodologia quadro dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza. Quest'ultimo, oltre a garantire il funzionamento efficace dell'edificio e contribuire a migliorarne la prestazione energetica, risponderebbe anche alle esigenze degli occupanti per un ambiente interno salubre, confortevole e produttivo. L'indicatore in questione potrebbe includere un indice o una metrica (ad es. DEQI), che consideri i parametri fisici più importanti della IEQ. Utilizzando una ICT matura e interattiva, il dispositivo potrebbe essere visualizzato su monitor negli edifici, in modo da garantire informazioni in tempo reale su aspetti relativi alla IEQ in base a misurazioni in tempo reale [52]. Le informazioni visualizzate consentirebbero al dispositivo di fornire agli occupanti indicazioni personalizzate, come aprire le finestre o accendere il sistema di ventilazione quando i livelli di CO_2 risultino elevati [53]. La figura 14 illustra le possibili fasi costitutive dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza.

Figura 14 - Possibili fasi costitutive dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza

CONFORMITÀ E CONTROLLO DELLA QUALITÀ

Come indicato negli articoli 14 e 15 dell'EPBD modificata, gli Stati membri dovrebbero attuare ispezioni obbligatorie, con valutazioni dell'attivazione e delle prestazioni in riferimento ai requisiti IEQ. La conformità dovrebbe essere valutata regolarmente durante la fase della progettazione, prima e dopo l'occupazione e prima e dopo la ristrutturazione dell'edificio (figura 15), mentre le verifiche per il controllo della qualità dei sistemi di riscaldamento, rinfrescamento e ventilazione dovrebbero avere luogo per garantire le prestazioni operative a lungo termine degli edifici in relazione ai requisiti IEQ.

Figura 15 - Fasi in cui eseguire verifiche della conformità e del controllo di qualità (fonte: "Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union," Commissione europea, JRC 2016)

Negli Stati membri le verifiche della conformità e del controllo di qualità degli APE sono di importanza cruciale per l'efficace attuazione dei regolamenti edilizi. Secondo l'articolo 18 dell'EPBD, gli Stati membri devono istituire un sistema di controllo indipendente sugli APE rilasciati, al fine di garantirne la conformità. Con tale obiettivo, il progetto QUALICHeCK, finanziato dall'Unione Europea, ha individuato un approccio in tre passaggi, che include i punti riportati di seguito [54]:

1. **Procedure chiare per determinare i dati da inserire nell'APE;**
2. **Procedure legali chiare per decidere in merito a questioni di non conformità e azioni collegate;**
3. **In caso di non conformità si dovrebbero applicare meccanismi efficaci di controllo e sanzionamento.**

Per sostenere l'integrazione della IEQ entro il quadro normativo mediante gli 'strumenti di stimolo' precedentemente menzionati (strategie di ristrutturazione, APE, indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza), è necessario applicare meccanismi adeguati a imporne l'attuazione, la conformità e il controllo, al fine di garantirne l'osservanza. Per assicurare il controllo di qualità dei requisiti IEQ si potrebbe applicare un approccio in tre passaggi, di tipo simile a quello previsto nelle raccomandazioni del progetto QUALICHeCK di cui sopra.

RACCOMANDAZIONI VOLTE A INCREMENTARE IL RICONOSCIMENTO DELLA IEQ NELLA POLITICA EUROPEA E NAZIONALE

Una IEQ di buon livello è fondamentale per garantire salute, comfort, benessere e produttività all'interno degli edifici, mentre la riduzione dell'impatto climatico del parco immobiliare è essenziale per rispettare gli impegni assunti dalla UE nell'ambito del Trattato di Parigi. È necessario assicurare l'equilibrio tra le diverse esigenze degli occupanti, come risparmi energetici, temperature piacevoli, luce naturale sufficiente e buona qualità dell'aria interna. La IEQ può diventare una forza trainante per la ristrutturazione energetica e la corretta attuazione nell'intera Europa, stimolando di conseguenza l'esigenza di una metodologia basata sull'ottimalità dei costi. L'EPBD recentemente modificata (2018/844) ha avviato un cambiamento nella giusta direzione, ma a livello di UE e Stati membri è necessario un forte intervento per la relativa attuazione.

ARMONIZZARE LE METODOLOGIE DI CALCOLO E I REQUISITI IEQ A LIVELLO UE

LIVELLO UE

Armonizzare requisiti e metodologie a livello europeo servirebbe ad **affrontare le incongruenze tra le diverse metodologie di calcolo, i requisiti IEQ e i criteri di progettazione**, oltre che tra i vari paesi. Ciò garantirebbe un approccio sistematico per la definizione di indici e metriche, in modo da poter confrontare i risultati ottenuti in tutti gli Stati membri. La UE dovrebbe anche incoraggiare un quadro di valutazione e revisione continuo, in grado di assicurare dati di buona qualità, affidabili e confrontabili.

APPLICARE GLI ASPETTI DELLA IEQ NELL'ATTUAZIONE DELL'EPBD

LIVELLO UE

La Commissione Europea dovrebbe **monitorare** attentamente **e imporre l'attuazione dell'EPBD modificata**. La lentezza nell'attuazione a livello di Stati membri, la scarsa conformità e la mancata imposizione della Direttiva in oggetto mettono a rischio i cambiamenti necessariamente previsti.

USARE STRATEGIE DI RISTRUTTURAZIONE NAZIONALI A LUNGO TERMINE PER STIMOLARE MIGLIORAMENTI NELLA IEQ

LIVELLO NAZIONALE

Le strategie di ristrutturazione a lungo termine (secondo quanto disposto dall'articolo 2bis dell'EPBD modificata) dovrebbero includere 'una stima affidabile del risparmio energetico atteso, nonché dei benefici connessi alla salute, al comfort e alla sicurezza.' **Si richiede**, inoltre, **la definizione di requisiti e orientamenti al fine di garantire che la ristrutturazione degli edifici non sia limitata a ottenere risparmi energetici significativi, ma migliori anche la qualità della vita, la salute e il benessere delle persone, che vivano e lavorano all'interno degli edifici suddetti**. Nelle strategie di ristrutturazione nazionali si dovrebbero integrare anche soluzioni efficaci in termini di costi per assicurare una IEQ di buon livello, in modo che i benefici ottenibili siano adeguatamente considerati. Durante l'attuazione, gli Stati membri dovrebbero elaborare politiche atte a migliorare la qualità dell'aria interna, con un impatto positivo su comfort, salute e produttività, quali fattori di stimolo della ristrutturazione energetica. Politiche soddisfacenti dovrebbero assicurare livelli adeguati di luce naturale, acustica, ventilazione e qualità dell'aria interna.

La ristrutturazione profonda può generare notevoli benefici per la società in termini

di posti di lavoro locali, crescita economica, minori spese per la salute e standard di vita complessivamente più elevati. La ristrutturazione profonda, che assicura una IEQ di buon livello, è in grado di incrementare il comfort, il benessere e la produttività nell'ambiente interno, con una conseguente riduzione delle assenze dal lavoro. Può anche comportare una riduzione delle spese sanitarie, grazie al calo delle malattie e delle morti premature, associate alla permanenza in abitazioni fredde e umide. Questo, di conseguenza, riduce le richieste di assistenza sanitaria e servizi sociali. I risparmi sui costi dovrebbero essere tenuti in considerazione per la stima dei benefici in senso lato (come indicato nell'articolo 2bis 1 (g) dell'EPBD modificata) e al momento di elaborare politiche mirate al parco immobiliare. Inoltre, si richiedono procedure atte a consentire una migliore valutazione dei benefici suddetti, in modo da renderli oggetto di una diffusione e comunicazione più ampia.

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 2bis 1, (c), (g)

AFFRONTARE LA IEQ NELLE RISTRUTTURAZIONI ENERGETICHE IMPORTANTI

LIVELLO NAZIONALE

Le ristrutturazioni energetiche importanti riducono drasticamente il fabbisogno energetico di un edificio. Tuttavia, se non si considera la IEQ, la ristrutturazione può anche avere effetti negativi sull'ambiente interno. **Una ristrutturazione importante dovrebbe comportare la riduzione delle bollette energetiche e aumentare il comfort, assicurando una qualità dell'aria adeguata.** Ogni progetto di ristrutturazione energetica di notevole entità dovrebbe essere corredato da un piano, atto a garantire che le esigenze in termini di energia, comfort e qualità dell'aria risultino soddisfatte.

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 7

UTILIZZARE IL NUOVO CONCETTO DEL PASSAPORTO DI RISTRUTTURAZIONE DEGLI EDIFICI PER ASSICURARE MIGLIORAMENTI EFFETTIVI DELLA IEQ

LIVELLO NAZIONALE

Una tabella di marcia per la ristrutturazione in fasi successive, che guidi il proprietario nella realizzazione di un edificio altamente efficiente, dovrebbe integrare aspetti della IEQ. **Un passaporto di ristrutturazione degli edifici**, basato su 'criteri qualitativi e che indichi le misure idonee a migliorare la prestazione energetica' (come indicato nell'articolo 19a dell'EPBD modificata) **dovrebbe fornire informazioni esaustive sugli indicatori pertinenti, come la prestazione energetica, le emissioni di CO2 e aspetti della IEQ, oltre a raccomandazioni sui miglioramenti necessari, in modo dettagliato e dinamico.**

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 2bis , (c), (g) e articolo 19bis

RENDERE GLI ATTESTATI DI PRESTAZIONE ENERGETICA PIÙ UTILI PER I PROPRIETARI

LIVELLO NAZIONALE

Gli APE hanno il potenziale per diventare strumenti efficaci nel tracciare non solo la prestazione energetica dell'edificio ma anche la relativa IEQ complessiva, fornendo informazioni affidabili a riguardo. Le informazioni si potrebbero desumere da misurazioni, esiti di sondaggi con interviste agli occupanti e/o simulazioni dinamiche al computer con o senza l'inclusione di una metrica o un indice IEQ complessivo. Di conseguenza, **gli APE dovrebbero essere riesaminati e ulteriormente ampliati per ottenere 'APE di nuova generazione', affidabili, conformi e facili da usare, integrando anche aspetti non connessi all'energia come il comfort e la IEQ.** Gli APE dovranno essere ulteriormente migliorati dagli Stati membri (come indicato nell'articolo 19 dell'EPBD modificata). Al fine di sostenere la ristrutturazione profonda, inclusi aspetti riguardanti il clima interno e il comfort, gli APE dovrebbero essere integrati da passaporti di ristrutturazione degli edifici, come riportato nell'articolo 19bis.

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 19, articolo 20 (2)

INTEGRARE ASPETTI DELLA IEQ NELL'INDICATORE DI PREDISPOSIZIONE DEGLI EDIFICI ALL'INTELLIGENZA

La metodologia atta a calcolare l'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza, attualmente sviluppata dalla Commissione europea (si veda l'Allegato Ibis dell'EPBD modificata), terrà conto, tra le altre cose, dei dispositivi autoregolanti per l'ambiente termico nonché dei benefici per le condizioni climatiche interne. **L'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza dovrebbe essere mirato a migliorare la qualità di vita degli occupanti e garantire costantemente l'efficace funzionamento degli edifici.** Integrare aspetti della IEQ nella metodologia quadro generale dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza garantirà che l'edificio sia in grado di adattare il proprio funzionamento in base alle esigenze fondamentali degli occupanti in termini di salute, benessere e produttività. Una parte importante dell'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza dovrebbe essere costituita da una metrica o un indice della IEQ di tipo complessivo (ad es. DEQI), che aiuti i proprietari a individuare e affrontare le anomalie relative all'ambiente interno.

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, Allegato Ibis

ASSICURARE UN LIVELLO GLOBALE DI CONFORMITÀ E CONTROLLO DELLA QUALITÀ

Le valutazioni post occupazione, post installazione/costruzione, attivazione (ad es. per i sistemi di ventilazione), la verifica del comportamento dell'utente, le diagnosi e le ispezioni periodiche (come ricordato negli articoli 14 e 15 dell'EPBD) sono essenziali per garantire un efficace funzionamento degli edifici. **Le verifiche della conformità e del controllo di qualità**, relative ai sistemi di riscaldamento, rinfrescamento e ventilazione, **dovrebbero essere effettuate periodicamente, per assicurare le prestazioni operative a lungo termine degli edifici in termini di requisiti IEQ.**

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 14 e articolo 15

AMPLIARE LA FORMAZIONE DEGLI ESPERTI ENERGETICI

Gli esperti energetici nel settore delle costruzioni dovrebbero essere adeguatamente formati e istruiti in tutta Europa (articolo 2bis 1 (f) dell'EPBD modificata). **La formazione, l'istruzione e l'esperienza delle persone autorizzate al rilascio di attestati, degli installatori e dei committenti dovrebbero essere ampliate fino a coprire, oltre all'efficienza energetica, questioni riguardanti la IEQ, la salute, il comfort e il benessere.**

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 2bis 1(f)

ACCRESCERE LA CONSAPEVOLEZZA DEGLI OCCUPANTI IN MERITO AGLI ASPETTI DELLA IEQ

Il comportamento degli occupanti degli edifici ha un'importanza cruciale per il mantenimento di una IEQ di buon livello. Come riportato nell'articolo 20 (2) dell'EPBD modificata, gli Stati membri 'forniscono ai proprietari e locatari informazioni mediante strumenti accessibili e trasparenti'. **Si dovrebbero considerare anche campagne volte ad accrescere la consapevolezza degli occupanti in merito all'importanza della IEQ e dei relativi effetti su salute, comfort e benessere.** Anche effettuare sondaggi strutturati, per capire come gli occupanti percepiscano l'ambiente interno, ne favorirebbe il coinvolgimento partecipato, con effetti positivi sul comportamento in relazione al clima interno.

Riferimento legislativo: EPBD 2018/844, articolo 20 (2)

RIFERIMENTI

[1] BPIE. 2015. Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight: Analysis of residential building regulations in eight EU Member States. BPIE, Brussels.

[2] WHO. 2012. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012. World Health Organization [online]. Available: www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf [Accessed October 2017].

[3] World Green Building Council. 2014. Health, Wellbeing & Productivity in Offices.

[4] ASHRAE. 2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

[5] EN ISO 7730. 2005. Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. European Committee for Standardization, Brussels.

[6] Buildings 2030. 2017. Building 4 People: People-Centric Buildings for European Citizens. White Paper [online]. Available: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/12/White-Paper2017.pdf [Accessed 12 December 2017].

[7] Walsh, P.J., Dudney, C.S., Copenhaver, E.D. 1990. Indoor Air Quality. CRC Press, Boca Raton, FL.

[8] BPIE. 2017. Reducing Energy Poverty with National Renovation Strategies: A Unique Opportunity [online]. Available: bpie.eu/wp-content/uploads/2017/04/Factsheet_A-170420v4.compressed.pdf [Accessed 14 December 2017].

[9] BPIE. 2014. Energy Performance Certificates Across the EU. BPIE, Brussels.

[10] EN 15251:2006. 2006. Indoor environmental input parameters for desing and assessment of energy performance of buildings – addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

[11] BPIE. 2017. Opening the door to smart buildings [Online]. Available: bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Policy-recommendations_Final.pdf [Accessed 14 December 2017].

[12] Council of the European Union. 2018. Proposal for a Directive of the European Parliamet and of the Council ammending Directive 2012/31/EU on the energy performance of buildings.

[13] The European Parliament and the Council of the European Union. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Partiament and of the Council on the Energy Performance of Buildings.

[14] De Giuli, V., D Pos, O., De Carli , M. 2012. Indoor Environmental Quality and pupil perception in Italian primary schools. Building and Environment, vol. 34, no. 6, pp. 549-561.

[15] Klepeis, N., Nelson, W., Ott, W., Robinson, J., Tsang, A., Switzer, P., Behar, J., Hern, S., Engelmann, W. 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, vol. 11, pp. 231-252.

[16] U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Report to Congress on indoor air quality: Volume 2. EPA/400/1-89/001C, Washington, DC.

[17] ASHRAE. 2010. Guideline 10P, Interactions Affecting the Achievement of Acceptable Indoor Environments. Altanta, USA.

[18] Dockery, D.W., Pope, C.A. et al. 1993. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. New England Journal of Medicine, vol. 24, pp. 1753-1759.

[19] Pope III, C.A., Dockery, D.W. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of Air & Waste Management Association, vol. 56, no. 6.

[20] VELUX. 2017. Healthy Homes Barometer 2017 [online]. Available: velcdn.azureedge.net/~/media/com/health/healthy-home-barometer/507505-01%20barometer_2017.pdf [Accessed 12 December 12].

[21] Joint Research Centre. 2016. Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union. European Commission , Italy.

[22] KS17, CIBSE. 2013. Indoor and quality and ventilation.

[23] British Standard Institution. 2006. BS EN ISO 16000- 1: 2006. Indoor Air - Part 1: General aspects of sampling strategy. BSI, London.

[24] British Standard Institution. 2008. BS ISO 16814:2008 Building environment design. Indoor air quality. Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy. BSI, London.

[25] Mendell, M. 1993. Non-Specific Symptoms in Office Workers: A Review and Summary of the Epidemiologic Literature. Indoor Air, vol. 3.

[26] EPA. 1991. Indoor Air Facts No. 4: Sick Building Syndrome.

[27] European Court of Auditors. 2017. Air Quality in the EU – Audit brief.

[28] CIBSE. 2006. CIBSE Knowledge Series – Comfort. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

[29] WELL. 2017. The WELL Building Standard. International WELL Building Institute, NY.

[30] CIBSE. 2006. Guide A: Environmental Design. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

[31] VELUX. 2014. Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book.

[32] Ling, M.K. 2001. Acoustics and Ventilation. AIVC, UK.

[33] Kim, J., de Dear, R. 2012. Nonlinear relationships between individual IEQ factors and overall workplace satisfaction. Building and Environment, vol. 1, no. 49.

[34] Wouters, P., Durier, F., Ingelaere, B. 2017. Can BIM be a disruptive technology for EPC assessment?

[35] Comfortmeter. nd. Comfort Meter Building Performance [online]. Available: comfortmeter.eu/en/why [Accessed 13 December 2017].

[36] ASHRAE. 2010. Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings. ASHRAE.

[37] Kunkel, S., Kontonasiou, E. Indoor air quality, thermal comfort and daylight policies on the way to nZEB-status of selected Member States and future policy recommendations. ECEE Summer Study Proceedings.

[38] European Commission. 2016. Clean Energy for All Europeans [online]. Available: ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans

[39] BPIE. 2013. Renovation Strategies of Selected EU Countries – A status report on compliance with Article 4 of the Energy Efficiency Directive. BPIE, Brussels.

[40] BPIE. 2017. Policy Factsheet: Trigger Points as a 'Must' in National Renovation Strategies [online]. Available: bpie.eu/wp-content/uploads/2017/05/Factsheet_B-170511_v4.pdf [Accessed 14 December 2017].

[41] Ahrentzen, S., Erickson, J., Fonseca, E. 2016. Thermal and health outcomes of energy efficiency retrofits of homes of older adults. Indoor Air, vol. 26, pp. 582-593.

[42] Noris, F., Adamkiewicz, G., Delp, W.W., Hotchi, T., Russel, M., Singer, B.C., Spears, M., Vermeer, K., Fisk., W.J. 2013. Indoor environmental quality benefits of apartment energy retrofits. Building and Environment, vol. 68, pp. 170-178.

[43] Noris, F., Delp, W.W., Vermeer, K., Adamkiewicz, G., Singer, B., Fisk, W. 2013. Protocol for maximizing energy savings and indoor environmental quality improvements when retrofitting apartments. Energy and Buildings, vol. 61, pp. 378-386.

[44] Joint Research Centre. 2016. Synthesis Report on the assessment of Member States' building renovation strategies [online]. Available: publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC97754/syntesis%20report%20building%20renovation%20strategies_online%20fin.pdf [Accessed 14 December 2017].

[45] BPIE. 2017. Policy Factsheet: Building Renovation Passports: Consumer's Journey to a Better Home. BPIE, Brussels.

[46] Mudarri, D. 2006. The economics of enhanced environmental services in buildings. In: Clements-Croome, D. Creating the productive workplace. 2nd ed. London: Taylor and Franics.

[47] Laskari, M., Karatasou, S., Santamouris, M. 2017. A methodology for the determination of indoor environmental quality in residential buildings through the monitoring of fundamental environmental parameters: A proposed Dwelling Environmental Quality Index. Indoor and Built Environment, vol. 26, no. 6, pp. 813-827.

[48] BPIE. 2016. Building Renovation Passports – Customised roadmaps towards deep renovation and better homes. BPIE, Brussels.

[49] BPIE. 2017. Building Renovation Passports: Consumer's Journey to a better home. Policy Factsheet [online]. Available: bpie.eu/wp-content/uploads/2017/09/Factsheet_D-170918_Final-2.pdf [Accessed 13 December 2017].

[50] Olesen, B.W. 2007. The philosophy behind EN15251: indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. Energy and Buildings, vol. 39, pp. 740-749.

[51] BPIE. 2017. Smart buildings decoded. BPIE, Brussels.

[52] Build-Up. Welcome to the ISE-WISh project website [online]. Available: www.buildup.eu/en/news/welcome-ice-wish-project-website [Accessed 14 December 2017].

[53] ICE-WISH Project. 2014. D4.2 Optimum environmental, energy and water management plan.

[54] QUALICHeCK. Source book for improved compliance of Energy Performance Certificates (EPCs) of Buildings.

[55] DGNB. The DGNB System: Global Benchmark for Sustainability [online]. Available: www.dgnb-system.de/en/system/certification_system [Accessed 7 December 2017].

[56] International WELL Building Institute. The WELL Building Standard [online]. Available: www.wellcertified.com/en/explore-standard

[57] BPIE. 2013. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries – Lessons learned from three case studies. BPIE, Brussels.

[58] activehouse. Active House [online]. Available: www.activehouse.info/about/about-active-house [Accessed July 2018].

Buildings Performance Institute Europe (BPIE)

Rue de la Science 23
1040 Bruxelles
Belgio
www.bpie.eu