

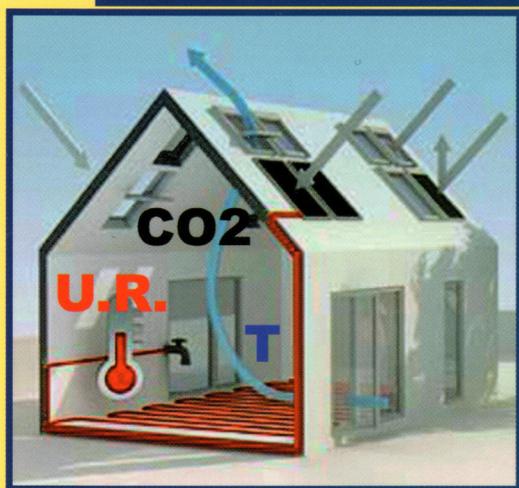
Stefano Paolo Corgnati, Manuel Gameiro da Silva (Eds.)
Roberta Ansaldi, Ehsan Asadi,
José Joaquim Costa, Marco Filippi,
Jan Kaczmarczyk, Arsen Krikor Melikov,
Bjarne W. Olesen, Zbigniew Popiolek,
Pawel Wargocki

15

VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ CLIMATICA DEGLI AMBIENTI CONFINATI

*Qualità termica
e dell'aria interna*

Traduzione a cura di
Stefano Paolo Corgnati



INDICE

| | |
|---|----|
| Capitolo 1 - Scopo della guida | 1 |
| Capitolo 2 - Introduzione generale | 3 |
| 2.1 - Introduzione..... | 3 |
| 2.2 - Nozioni generali sulla valutazione dell'IEQ | 5 |
| 2.3 - Commissioning..... | 6 |
| 2.4 - ICQ e protocolli di sostenibilità | 7 |
| Capitolo 3 - Effetti della qualità climatica indoor sulla produttività .. | 11 |
| 3.1 - Implicazioni..... | 11 |
| 3.2 - Introduzione..... | 11 |
| 3.3 - Effetti dell'ambiente termico sulle prestazioni e sull'apprendimento..... | 12 |
| 3.4 - Effetti della qualità dell'aria sulla prestazione e sull'apprendimento | 14 |
| Capitolo 4 - Principi teorici sull'ICQ | 19 |
| 4.1 - Qualità dell'ambiente interno | 19 |
| 4.1.1 - Introduzione | 19 |
| 4.1.2 - Termoregolazione del corpo umano | 19 |
| 4.1.3 - Bilancio di energia sul corpo umano | 21 |
| 4.1.4 - Condizioni di comfort termico | 24 |
| 4.1.5 - Discomfort termico locale | 29 |
| Ambienti termici non stazionari | 32 |
| 4.1.6 - Comfort termico in edifici senza il raffrescamento meccanico | 32 |
| 4.2 - Qualità dell'aria interna | 34 |
| 4.2.1 - Introduzione | 34 |
| 4.2.2 - Equazioni generali che definiscono la variazione nel tempo della concentrazione di un contaminante | 35 |
| 4.2.3 - Tasso di ricambio d'aria e età dell'aria media locale | 38 |
| 4.2.4 - IAQ e concentrazioni di inquinante | 39 |
| 4.2.5 - Percezione della qualità dell'aria interna | 40 |
| Fattori che influenzano la percezione della qualità dell'aria | 43 |
| Indice di odore | 45 |
| Criteri generali di comfort | 46 |
| Capitolo 5 - Criteri per la classificazione della qualità climatica dell'ambiente interno | 51 |

| | |
|---|------------|
| 5.1 - Introduzione | 51 |
| 5.2 - Classificazione della qualità termica dell'ambiente interno | 51 |
| 5.2.1 - Definizione delle categorie | 51 |
| 5.2.2 - Criteri di accettabilità dell'ambiente termico | 55 |
| 5.3 - Classificazione della qualità dell'aria interna | 61 |
| 5.3.1 - Metodi di valutazione | 61 |
| 5.3.2 - Requisiti di ventilazione | 62 |
| 5.3.3 - Linee Guida per i contaminanti dell'aria interna | 63 |
| Capitolo 6 - Sensori e strumenti di misura | 65 |
| 6.1 - Sensori e strumenti per la misurazione del comfort termico | 65 |
| Requisiti | 65 |
| Sensori e strumenti | 69 |
| 6.2 - Qualità dell'aria dell'ambiente interno | 75 |
| 6.2.1 - Introduzione | 75 |
| 6.2.2 - Inquinanti gassosi | 77 |
| 6.2.2.1 - Sensori elettrochimici | 77 |
| 6.2.2.2 - Sensori semiconduttori | 78 |
| 6.2.2.3 - Sensori catalitici di gas combustibile | 79 |
| 6.2.2.4 - Spettroscopia | 79 |
| Spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS-Near Infrared Spectroscopy) | 80 |
| Spettrometro fotoacustico | 81 |
| 6.2.2.5 - Gascromatografia | 81 |
| 6.2.2.6 - Spettrometria di massa | 83 |
| 6.2.3 - Particolato | 83 |
| 6.2.3.1 - Misurazione gravimetrica | 83 |
| 6.2.3.2 - Misuratori ottici di massa | 84 |
| Capitolo 7 - Procedura di valutazione dell'ICQ | 87 |
| 7.1 - Introduzione | 87 |
| 7.2 - Procedura di valutazione | 88 |
| 7.2.1 - Sezione 1: "Perchè?" | 90 |
| 7.2.2 - Sezione 2: "Dove e Quando?" | 91 |
| 7.2.3 - Sezione 3: "Cosa?" | 92 |
| 7.2.4 - Sezione 4: "Come?" | 93 |
| 7.2.5 - Sezione 5: "Outputs" | 95 |
| Suggerimenti per la garanzia delle qualità nelle campagne di misura | 95 |
| Analisi di sensibilità | 97 |
| Capitolo 8 - Casi studio | 103 |
| 8.1 - Caso studio 1 - Valutazione della qualità termica interna in uffici con ventilazione a dislocamento tramite misurazione spot | 103 |
| 8.1.1 - Motivazione | 103 |

| | |
|---|-----|
| 8.1.2 - Edifici | 104 |
| 8.1.3 - Occupanti..... | 104 |
| 8.1.4 - Strumenti di misura | 104 |
| 8.1.5 - Questionari..... | 106 |
| 8.1.6 - Protocollo delle misurazioni | 107 |
| 8.1.7 - Analisi dei dati | 108 |
| 8.1.8 - Risultati dell'indagine..... | 108 |
| 8.1.9 - Conclusioni | 112 |
| 8.2 - Caso studio 2 - Valutazione della qualità termica e dell'aria in una banca attraverso misurazioni in breve periodo..... | 113 |
| 8.2.1 - Motivazione | 113 |
| 8.2.2 - Caso studio..... | 113 |
| 8.2.3 - Metodi e strumenti di misura | 114 |
| 8.2.4 - Qualità dell'aria dell'ambiente interno | 114 |
| 8.2.5 - Temperatura ed umidità relative dell'aria interna..... | 117 |
| 8.3 - Caso studio 3 - Valutazione e classificazione della qualità dell'ambiente interno in uffici attraverso misurazione di lungo periodo..... | 118 |
| 8.3.1 - Motivazione | 118 |
| 8.3.2 - Caso studio..... | 118 |
| 8.3.3 - Range di accettabilità per la temperatura operativa interna | 120 |
| 8.3.4 - Diagnosi delle sostanze rappresentative | 121 |
| 8.3.5 - Classificazione delle stanze rappresentative | 124 |
| 8.3.6 - Diagnosi dell'intero edificio..... | 126 |
| 8.3.7 - Classificazione dell'intero edificio | 126 |
| 8.4 - Caso studio 4 - Valutazione della qualità del clima interno e dei consumi energetici in un edificio per uffici con soluzione di monitoraggio a rete wireless basato sul web | 127 |
| 8.4.1 - Motivazione | 127 |
| 8.4.2 - Caso studio..... | 128 |
| 8.4.3 - Sistema di monitoraggio | 128 |
| 8.4.4 - Qualità del clima interno | 130 |

| | |
|---------------------------|------------|
| Bibliografia | 135 |
|---------------------------|------------|

| | |
|-------------------------------|------------|
| Indice analitico | 149 |
|-------------------------------|------------|

CAPITOLO 1

SCOPO DELLA GUIDA

Scopo di questa guida è fornire informazioni pratiche per la valutazione della ICQ “Indoor Climate Quality”, ovvero della qualità climatica interna in edifici di nuova costruzione o esistenti, esaminati principalmente durante la loro fase di occupazione.

L’ICQ influenza il benessere delle persone negli ambienti interni, ed è correlata agli aspetti termoigrometrici e di qualità dell’aria interna. In particolare, l’ICQ rappresenta una parte fondamentale della più generale IEQ “Indoor Environmental Quality” ovvero la qualità ambientale interna, definita come l’insieme del comfort termico, visivo, acustico, ergonomico e della qualità dell’aria interna. Il tema dell’IEQ è trattato accuratamente all’interno della normativa EN 15251 [C1], che prende in considerazione tutti gli aspetti connessi alla qualità dell’ambiente interno (termici, visivi, acustici e di qualità dell’aria): questa guida focalizza la sua attenzione esclusivamente sugli aspetti termici e di qualità dell’aria interna. L’ICQ ha un impatto fondamentale sul benessere percepito dagli esseri umani. Inoltre, è strettamente legata alle prestazioni energetiche e al funzionamento dell’edificio, essendo connessa al riscaldamento, al raffrescamento e alla ventilazione dell’edificio stesso. L’ICQ è allo stesso tempo relazionata alla produttività dell’occupante.

Oggi l’importanza di monitorare ed esaminare gli edifici durante il loro periodo di occupazione diventa sempre più importante. Il processo di commissioning durante la fase di post-occupazione promosso da ASHRAE (Linea guida 0-2005) e da REHVA (“The Commissioning Process”, CD) rappresenta una fase fondamentale di valutazione delle prestazioni dell’edificio. Questo processo, successivo alla fase di progetto e di costruzione, è dedicato alla verifica della performance reale dell’edificio, sia durante i periodi di occupazione sia durante i periodi di non occupazione, e all’ottimizzazione del servizio di gestione energetica e ambientale, mediante il miglioramento della capacità di rispondere alle esigenze degli occupanti, perfezionando al tempo stesso la razionalizzazione degli usi energetici finali.

Prima di tutto, la valutazione dell'ICQ consente di determinare l'effettivo livello di comfort interno per gli occupanti, evidenziando con esattezza eventuali problematiche e suggerendo azioni correttive.

La valutazione dell'ICQ può anche suggerire opportunità per miglioramenti operativi sull'edificio, legati al funzionamento del sistema edificio-impianto (impianti di riscaldamento e raffrescamento, unità di trattamento dell'aria etc.), all'apertura delle finestre per la ventilazione naturale, ai dispositivi operabili di schermatura e alle azioni e comportamenti dell'occupante.

Infine, attraverso la valutazione continua o ripetuta dell'ICQ, si possono documentare gli impatti di azioni correttive e si possono definire i parametri di riferimento per future gestioni operative. Il risultato generale di questo tipo di approccio può essere il miglioramento del comfort degli occupanti, il miglioramento dell'efficienza energetica, la riduzione dei costi di manutenzione e l'allungamento della vita dell'edificio e degli impianti.

Questa guida vuole fornire la necessaria base teorica ai tecnici affinché possano governare la materia dell'ambiente termico e della IAQ. Inoltre, essa vuole presentare i principali indici e descrittori utilizzati per la valutazione dell'ICQ negli edifici e introdurre i principi rilevanti legati alle campagne di misura, illustrando i rispettivi sensori e attrezzature. Infine, essa intende esaminare le procedure di monitoraggio, le strategie di acquisizione dei dati e le metodologie per la loro elaborazione, fornendo linee guida che possano essere usate sia nella pianificazione delle misurazioni spot sia nel monitoraggio di lungo periodo.

La valutazione dell'ICQ può essere condotta sia in edifici privati che pubblici; la tendenza prevista è di una sua maggiore iniziale applicazione nel settore terziario rispetto al residenziale, ciò non solo per questioni legate ai costi da sostenere ma anche per le politiche di regolamentazione lanciate dalle autorità europee, convinte che il potenziale di risparmio energetico sia maggiore nel settore terziario.

Essendo strettamente connessa alle prestazioni energetiche dell'edificio e alle efficienze dei rispettivi impianti installati, l'ICQ è influenzata da molti fattori, non ultimi i fattori legati ai comportamenti degli occupanti e alle condizioni climatiche esterne. La grande sfida per i tecnici coinvolti nel miglioramento energetico degli edifici è trovare le soluzioni migliori che forniscano elevato benessere per gli occupanti, minimizzando i consumi energetici e gli impatti ambientali. L'inizio del processo di miglioramento è una buona conoscenza del comportamento dell'edificio: per questo la valutazione dell'ICQ è fondamentale.

Questa guida fa emergere molte questioni ed interrogativi afferenti a diversi campi di applicazione pratica, come il legame tra consumi energetici e ICQ o le tematiche connesse alla modellazione del comportamento dell'occupante nelle simulazioni energetiche degli edifici. Sebbene questi argomenti siano di grande interesse e talvolta cruciali per migliorare le capacità di comprensione delle dinamiche energetiche e dell'ICQ, essi non saranno trattati nei seguenti capitoli perché non rappresentano l'obiettivo specifico di questa guida.

CAPITOLO 2

INTRODUZIONE GENERALE

2.1 - Introduzione

Durante gli ultimi anni, grazie al miglioramento degli standard di vita e alle innovazioni garantite dal progresso tecnologico, le attese da parte degli occupanti di un'alta qualità dell'ambiente interno sono gradualmente aumentate. Poiché gli individui trascorrono anche più del 90% del loro tempo all'interno di edifici, la necessità di garantire adeguate condizioni di comfort e, al contempo, migliorare l'efficienza energetica sono aspetti cruciali.

La qualità ambientale interna (IEQ), definita come il complesso di comfort termico, visivo, acustico, ergonomico e di qualità dell'aria interna (IAQ), influenza fortemente il benessere negli spazi confinati, la produttività negli ambienti lavorativi e scolastici [1] e i relativi costi energetici.

La valutazione dell'IEQ ha un importante ruolo, complementare alla valutazione/certificazione della qualità energetica di un edificio. La Direttiva Europea sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD) 2002/91/CE [2C1], relativa alla certificazione energetica degli edifici, rileva chiaramente l'importanza di stimare il livello di IEQ, atteso o realizzato, corrispondente ad una data prestazione energetica. La Qualità Climatica Interna (ICQ), riferendosi agli aspetti termici e legati all'IAQ, rappresenta un elemento chiave per spiegare i consumi d'energia degli impianti di climatizzazione.

Come è ben noto, l'EPBD punta a realizzare un approccio europeo armonizzato alla certificazione energetica degli edifici. Definisce le linee guida da adottare nei paesi europei, al fine di stabilire i requisiti minimi di prestazione energetica per edifici nuovi ed esistenti, e per rendere chiaramente visibili i consumi effettivi di ogni edificio.

La certificazione di energia riguarda il consumo di energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda e illuminazione artificiale. Ogni edificio dovrebbe essere dotato di un certificato, in cui siano riportate informazioni sui consumi calcolati o effettivamente misurati, e suggerimenti per migliorarne la prestazione energetica, valutati in un'ottica costi/benefici attesi. La certificazione energetica classifica gli edifici su una scala da A a G, in manie-

ra simile alla classificazione degli elettrodomestici, in modo che questi possano essere valutati e confrontati in base al consumo di energia.

È evidente che il consumo di energia di un edificio è influenzato direttamente dal livello di comfort interno. Infatti, considerando lo stesso edificio e con gli stessi impianti, nelle medesime condizioni climatiche, livelli più alti di comfort climatico interno corrispondono a un più alto fabbisogno energetico. Inoltre, occupanti insoddisfatti, tenderanno di migliorare la loro situazione comfort, e questo avrà implicazioni dal punto di vista energetico [3].

I consumi d'energia negli edifici possono mostrare variazioni significative che dipendono dalle reali condizioni di gestione e operative, come:

- strategie ed orari di funzionamento dei sistemi di climatizzazione;
- comfort atteso dagli occupanti (contesti diversi corrispondono ad attese diverse, con riferimento all'ambiente termico, visivo, acustico e alla qualità dell'aria);
- strategie e azioni adottate dagli occupanti per il controllo del clima interno (programmazione temporale dei valori di set-point, uso di luce artificiale, apertura e chiusura di finestre ecc.);
- periodi di occupazione dell'edificio e tipo di attività svolte dagli occupanti.

Analizzando i due possibili metodi di certificazione energetica espressi dalle normative, asset rating and operational rating, si nota che il primo metodo prende in considerazione l'uso standard dell'edificio (calcolo standard), mentre il secondo considera la sua vera condizione di uso dell'edificio (verifica in esercizio). In pratica, è possibile che le attese di comfort reali degli occupanti, le strategie effettivamente impiegate per il controllo del clima interno ecc. possano condurre a condizioni climatiche interne diverse dalle condizioni standard applicate con l'asset rating e questo può determinare significative variazioni nei reali consumi d'energia [4].

Per queste ragioni, una valutazione energetica che non comprenda anche una verifica dei livelli assunti dalle grandezze ambientali interne è priva di senso. Nasce quindi il bisogno di specificare i parametri caratterizzanti l'ambiente interno per il progetto, i calcoli dei fabbisogni energetici, la verifica energetica in esercizio e la gestione degli edifici. La Norma EN 15251 [C1] “Indoor environmental parameters for assessment of energy performance of buildings, addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics” è stata sviluppata per questo scopo, ovvero specificare i parametri ambientali e i requisiti necessari per raggiungere gli obiettivi di prestazione energetica come indicato dall'EPBD [C6].

La Norma introduce interessanti ipotesi metodologiche e fornisce indicazioni per la classificazione dell'IEQ (in riferimento a riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione e controllo del rumore), sia in fase di progetto (design rating) sia in fase di gestione (operational rating).

Usando un approccio simile alla certificazione energetica, sono proposte delle categorie (classi) di qualità ambientale interna. In particolare sono indicate quattro categorie di qualità ambientale interna: I (livello alto di attesa), II (livello normale di attesa), III (livello moderato di attesa), IV (valori accettabili solamente per una parte limitata dell'anno). Ogni categoria corrisponde ad un livello diverso di accet-

tabilità dell'ambiente interno (percentuale prevista di occupanti soddisfatti). Questa Guida si concentra sull'analisi della "qualità climatica interna" (ICQ), che come introdotto ha un impatto fondamentale sia sulla IEQ percepita sia sui consumi d'energia negli edifici per riscaldamento, raffrescamento e ventilazione. La procedura di verifica della ICQ può essere basata su misurazioni spot o su misurazioni di lungo periodo. Il primo caso fornisce un ritratto particolareggiato dell'ICQ in date condizioni, mentre il secondo caso consente una descrizione meno particolareggiata, ma una vista dinamica, estesa ad un periodo rappresentativo di tempo.

Quindi, usando una metafora, se il risultato di una misurazione spot è tipicamente un ritratto compiuto da una macchina fotografica ad alta risoluzione, i risultati di misurazioni sul lungo periodo sono un film, forse meno dettagliato o in "bianco e nero", ma che raccontano una storia. Ambedue sono importanti e complementari, ma si usano per raggiungere obiettivi diversi.

Infatti, la valutazione dell'ICQ in edifici esistenti può avere scopi diversi, per esempio:

1. ottenere riscontri durante il commissioning dei sistemi di climatizzazione;
2. verificare obiettivi specificati da contratti di facility management;
3. diagnosticare rapidamente le cause di rimostranze e insoddisfazione in un edificio;
4. migliorare la gestione di un edificio;
5. correlare il consumo di energia in un edificio alle condizioni di comfort termiche corrispondenti.

2.2 - Nozioni generali sulla valutazione dell'IEQ

Ottenere risultati rappresentativi ed esaustivi dell'evoluzione di un parametro ambientale in un edificio non è, nella maggior parte dei casi, un problema facilmente risolvibile. In molti casi, i valori possono variare temporalmente o spazialmente, e di conseguenza i valori istantanei misurati in un preciso momento possono avere poco significato. La "fotografia istantanea" ottenuta da una misura locale può essere poco significativa per descrivere compiutamente la storia completa del periodo di occupazione e/o la per fornire una condizione media della distribuzione spaziale nell'ambiente interessato.

Questo non è un problema insolubile perché è sempre possibile aumentare il numero totale e la durata delle misurazioni. Comunque, la realizzazione di un sistema di misura per valutare l'ICQ negli edifici deve soddisfare criteri sia tecnici che economici, in modo che i benefici ottenuti in termini di qualità ambientale non siano superati dai costi delle campagne di misurazione. L'equilibrio è ancora difficile da trovare poiché un'aspirazione di questo principio può condurre facilmente ad uno scenario dove si installano pochi punti di misura in molti edifici, punti di misura che rischiamo di non essere in grado di fornire un quadro rappresentativo delle realtà esistenti negli edifici stessi.

Questo genere di problema sorge in relazione anche a molti altri tipi di misurazioni. Di solito, la qualità dei risultati ottenuti è correlata all'esperienza dei tec-

nici e professionisti coinvolti, e la qualità cresce quando questi sanno applicare modelli di evoluzione delle variabili ambientali utili ad una valutazione preliminare dei loro andamenti: ciò permette loro di fare una scelta oculata e accurata delle modalità di acquisizione e di raccolta dati.

Parallelamente, è importante conoscere a fondo le norme e i report tecnici relativi alla definizione delle condizioni di misura: l'esistenza di standard e procedure strutturate è cruciale per migliorare i processi di monitoraggio, la qualità dei dati e dei risultati ottenuti attraverso campagne di misura.

Un altro problema da affrontare quando si esamina l'evoluzione temporale di una certa quantità, sta nello scegliere il descrittore più adatto per sintetizzare le informazioni raccolte sulla quantità stessa. Poiché chi valuta l'ICQ si occupa di variabili ambientali che possono influenzare sia la salute e sia il benessere degli occupanti, le informazioni devono essere fornite su livelli diversi.

D'altra parte, non si può esasperare la frequenza temporale di misurazione oltre ad un certo limite. L'informazione ricavabile può corrispondere all'integrazione della variabile nel tempo, oppure può essere fornita attraverso il valore di media temporale durante l'occupazione dello spazio. Inoltre, si dovrebbe evitare il superamento di soglie pericolose, benché episodiche, da parte delle grandezze misurate: per esempio le alte concentrazioni di sostanze inquinanti in ambienti chiusi possono provocare oltre ad una certa soglia danni irreversibili alla salute.

Dipendendo dalle caratteristiche del parametro stimato e dal suo impatto sulla salute e sul comfort degli occupanti, il descrittore scelto può essere per esempio la media nel tempo, il valore massimo assoluto durante il periodo di occupazione o i valori massimi pesati secondo la loro durata. Quando c'è bisogno di valutare la natura fluttuante di una quantità, il descrittore più comune è la deviazione standard delle sue fluttuazioni.

Quando si progetta una campagna di misura per la valutazione dell'ICQ, oltre alla definizione del tempo e alla durata dei periodi di campionatura, è basilare selezionare opportunamente il numero e le ubicazioni dei punti di misura. Un possibile approccio è dividere l'edificio in zone, considerando una zona come un insieme di spazi con gli stessi requisiti ambientali indoor che sono serviti dagli stessi impianti di climatizzazione, che presentano caratteristiche simili in termini di livello di occupazione e routine di occupazione, di attività svolta, di tipologia di costruzione, di caratteristiche dell'involucro e delle finiture, di strategie di distribuzione dell'aria, di esposizione al sole e alla luce. Una volta che le zone sono definite, il numero di punti di misura per zona può essere fissato, prendendo però in considerazione la dimensione della zona, e applicando un fattore di scala che riduce il numero di punti per unità di area negli spazi più grandi.

2.3 - Commissioning

Riguardo alla valutazione operativa degli edifici, il commissioning in fase di post-occupazione è proposto con enfasi sia da ASHRAE (Guideline 0-2005) che da REHVA (Rehva-CD "The Commissioning Process"). Si tratta di una fase di lavoro successiva al progetto e alla costruzione di un edificio, dedicata ai test sul-

l'edificio durante il periodo di occupazione ed al "facility optimisation" cioè al miglioramento della "capacità di rispondere in modo più efficiente ed affidabile alle necessità degli occupanti" [5]. Il miglioramento della qualità di gestione può essere applicato a edifici nuovi ed esistenti.

Lo scopo è:

- migliorare il funzionamento degli impianti (riscaldamento, raffrescamento e condizionamento dell'aria);
- identificare problemi e proporre azioni correttive;
- proporre opportunità per miglioramenti operativi;
- documentare l'impatto di azioni correttive e ridefinire i parametri di funzionamento per la gestione operativa futura.

I benefici attesi sono, fra gli altri:

- miglioramento del comfort degli occupanti;
- incremento dell'efficienza energetica;
- riduzione delle spese di manutenzione;
- vita utile maggiore per l'edificio e per gli impianti in esso installati.

Durante gli ultimi venti anni, vari metodi di valutazione da applicare alla fase di post-occupazione son stati sviluppati ed applicati: essi hanno dimostrato un potenziale significativo di riduzione dei costi e degli impatti ambientali dovuti agli edifici, nonché di miglioramento della qualità di vita, comfort e produttività degli occupanti [6]. La valutazione post-occupazione include tipicamente una indagine sulla soddisfazione dell'utente, un'analisi degli usi energetici e una raccolta di informazioni sulle attività dei lavoratori e sulla gestione dell'edificio. La valutazione dell'ICQ è quindi uno degli aspetti coinvolti in un'analisi post-occupazione.

Questa valutazione può essere usata anche come metodo per verificare la qualità dei servizi legati ad approvvigionamento di energia negli edifici. Il contratto di fornitura dell'energia ha l'intento di disciplinare l'offerta dei beni e servizi necessari a mantenere nell'edificio le adeguate condizioni di comfort interno, nel rispetto delle leggi correnti che governano l'uso razionale di energia, la sicurezza, la salute e la salvaguardia dell'ambiente. Inoltre esso è anche rivolto a migliorare i processi di generazione e razionalizzazione nell'uso dell'energia. In un "servizio energia", il comfort termico sia invernale che estivo dovrebbe essere considerato in relazione al funzionamento dei sistemi di climatizzazione. L'atteso livello di qualità ambientale indoor dovrebbe essere specificato chiaramente nel contratto, così come il metodo per la sua verifica durante la fase di occupazione operativa. Inoltre può essere previsto un aspetto tipico dei contratti di global service e facility management: la presenza di sanzioni e penali nel caso in cui le condizioni verificate in esercizio non soddisfino il livello di qualità ambientale indoor definito nel contratto.

2.4 - ICQ e protocolli di sostenibilità

I concetti di comfort interno sono fondamentali sia per il progetto che per la gestione dell'edificio, soprattutto quando si parla di un "edificio verde". Un

edificio verde ad alta efficienza non solo rispetta l'ambiente circostante e preserva le tradizioni costruttive, risparmia energia e acqua, sfrutta energia rinnovabile, impiega materiali locali e riciclabili, ma aiuta anche a promuovere e mantenere elevati livelli di comfort e di benessere per gli occupanti.

Per guidare il progetto di "edifici sostenibili" sono tipicamente utilizzate delle checklist per valutare quanto "verdi" risultano in pratica gli edifici oggetto di studio. La lista raccoglie un numero ragionevole di requisiti qualitativi e quantitativi, relativi ad aree energetico-ambientali diverse come:

- gestione del progetto e del processo costruttivo;
- luogo e contesto;
- consumi d'energia nel ciclo di vita totale;
- uso e recupero dell'acqua;
- materiali;
- qualità ambientale interna.

Per ogni requisito è definito uno specifico indicatore capace di stimare l'impatto ambientale di ogni scelta progettuale. L'indicatore di ogni requisito quantitativo è comparato con un riferimento attraverso cui è possibile definire il risultato ottenuto, che corrisponde ad un livello di sostenibilità dell'edificio.

Per ogni requisito, tutti i sistemi di valutazione (vedi sotto) ne definiscono lo scopo, i metodi usati per illustrarli e valutarli, e le strategie utili a realizzare un risultato più alto.

Dal lancio del primo sistema di stima/valutazione della sostenibilità della costruzione, chiamato BREEAM [C78 - W1] e promosso da BRE (British Research Establishment) nel 1990, questi strumenti hanno guadagnato rilevanza sempre maggiore per la valutazione di un edificio verde e si è assistito ad un notevole aumento dei metodi proposti e sviluppati in paesi diversi.

Nel 1996 USGB (United States Green Building Council) propose il LEED [C810 - W23 - W34] (Leadership in Energy and Environmental Design), un sistema di stima ora applicato in molti paesi in tutto il mondo.

Dopo l'esperienza della conferenza internazionale che ha avuto luogo in Vancouver (ottobre 1998), durante il Green Building Challenge fu lanciato e sostenuto da IISBE (International Initiative for Sustainable Built Environment) [7] un sistema di stima ora chiamato METHOD (Sustainable Building Method) [W45 - W56 - W7].

Esaminando i sistemi di valutazione internazionali sopra menzionati, si evince che l'IEQ pesa in modo sostanziale (intorno al 15%) sul risultato finale conseguibile.

I temi principali riferiti alla qualità climatica interna sono:

- IAQ e controllo delle sostanze inquinanti interne;
- comfort termico;
- comfort visivo;
- comfort acustico.

L'applicazione dei protocolli di valutazione prevede di procedere con analisi

Tab. 2.1 - Quadro sinottico con gli argomenti e i relativi requisiti e verifiche

| Ambito | Requisito | Verifica |
|---|---|---|
| IAQ e controllo degli inquinanti | Monitoraggio del livello di inquinanti | <ul style="list-style-type: none"> - Concentrazione degli inquinanti interni confrontata con i dati di riferimento - Tasso di ventilazione orario - Umidità relative in presenza di occupazione (monitoraggio) - Strategie progettuali riferite a questi ambiti |
| | Tasso di ventilazione | |
| | Limitazione degli inquinanti | |
| | Minimizzare il rischio di contagio microbiologico | |
| | Controllo dell'umidità relativa | |
| | Strategie di controllo per i fumatori | |
| | Sfruttamento della ventilazione naturale | |
| Comfort termico | Surriscaldamento estivo | <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura interna a bulbo secco - Temperatura effettiva - Temperatura operativa - Temperatura media radiante - PMV - PPD |
| | Temperatura superficiale interna in inverno | |
| | Temperatura superficiale interna in estate | |
| | Temperatura interna | |
| Comfort visivo | Daylight | <ul style="list-style-type: none"> - Orientamento dell'edificio - Controllo dell'ombreggiamento - Daylight Factor - Illuminamento - Apparecchi (con o senza dimmeraggio) - Abbagliamento |
| | Vista | |
| | Penetrazione della radiazione solare diretta | |
| | Uniformità di illuminamento | |
| | Sistemi di schermatura | |
| | Uso di lampade fluorescenti | |
| Comfort acustico | Requisiti acustici passivi degli edifici | <ul style="list-style-type: none"> - Fonoisolamento - Tempo di riverberazione - Livello sonoro degli ambienti interni - Intelligibilità della parola |
| | Requisiti acustici degli spazi interni | |

condotte per ogni fase, dal concept alla realizzazione dell'edificio fino alla analisi post-occupazione: il team di progettazione deve dimostrare il conseguimento di ogni requisito durante la fase di progettazione attraverso l'uso di software di simulazione, e durante il periodo di occupazione attraverso misurazioni in situ.

Dalla tabella 2.1 risulta evidente che il tema della ICQ e delle relative strategie è fondamentale nei sistemi di valutazione della sostenibilità degli edifici: le misure, la raccolta e l'elaborazione dei dati per la sua valutazione rappresentano un aspetto cruciale per il miglioramento del comfort e la razionalizzazione degli usi dell'energia.

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

La qualità climatica degli ambienti confinati (Indoor Climate Quality, ICQ), relativa agli aspetti termici, igrometrici e alla qualità dell'aria, influenza fortemente il benessere degli occupanti, la produttività nei luoghi lavoro e negli ambienti educativi, nonché i relativi costi energetici necessari a mantenere adeguate condizioni di comfort interne. Di conseguenza, come misurare e valutare la ICQ è un aspetto cruciale, complementare alla valutazione / certificazione della qualità energetica dell'edificio: la ICQ ha infatti un impatto basilare non solo sul benessere degli occupanti, ma è anche fortemente legata al consumo energetico reale dell'edificio. La richiesta di un elevato livello di ICQ determina una maggiore domanda di energia, necessaria per controllare strettamente i parametri del clima interno; al tempo stesso, a bassi livelli di ICQ dovrebbero corrispondere bassi consumi energetici.

Lo scopo della Guida è quello di fornire informazioni pratiche sulla valutazione della "qualità del clima interno" in edifici nuovi o esistenti. La Guida intende fornire un ausilio alla applicazione di procedure e alla definizione di piani di monitoraggio negli edifici, partendo dalla scelta dei sensori fino all'elaborazione ed analisi dei dati. Sia le misurazioni spot che quelle di lungo periodo vengono esaminate nella Guida. Inoltre, sono presentati alcuni casi di studio in modo da evidenziare gli approcci messi in atto in una serie di esperienze pratiche. In particolare, essa si rivolge a professionisti, tecnici, energy manager, costruttori edili nonché a tutte quelle figure coinvolte nel collaudo e nel commissioning del sistema edificio-impianti.

Stefano Paolo Corgnati, laureato con lode in Ingegneria Meccanica e dottore di ricerca in Energetica, è professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino. Svolge attività di ricerca nel gruppo TEBE nei campi del risparmio energetico negli edifici e del benessere climatico indoor. È coordinatore operativo del "Research Competence Centre TI-Green" nato dalla partnership tra Politecnico di Torino e Telecom.

È autore di oltre 180 pubblicazioni relative all'energetica edilizia e al comfort negli edifici. Per le sue ricerche, nel 2009 è vincitore del premio REHVA "Young Scientist Award". Per la sua attività in REHVA, nel 2011 è inoltre nominato "REHVA Fellow".

È membro del Consiglio Direttivo di AiCARR e del Board of Directors di REHVA.

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.

AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione - www.aicarr.org

CODICE VCA

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-97323-02-0



9 788897 323020

Euro 27,00

Questo volume approvato dal tallonino
(rendita e altri atti di disposizione vicari art. 11 c. 2 - L. 633/1941).
Esente da IVA. (D.P.R. 26/10/1972 n. 633 art. 2, lett. d) -
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978 n. 627 art. 4, n. 6).

STEFANO PAOLO CORGNATI
VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ
CLIMATICA DEGLI AMBIENTI CONFINATI
ISBN 978-88-97323-02-0