

A new model for a comprehensive comfort assessment methodology in buildings based on pre and post design procedure

Alessia Gadotti^{a*}

^a Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering (DICAM) University of Trento, Via Mesiano, 77, 38123 Trento, Italia

Highlights

Overview of comfort evaluation methods in green building rating systems;
Literature review of comfort assessment schemes;
Focus on those models applying an Analytic Hierarchic Process (AHP);
Proposal of a methodology for the definition of a new integrated system for the evaluation and classification of indoor comfort

Abstract

The research project here presented concerns the definition of a new integrated system for the evaluation and classification of indoor human comfort. In the present context, there is the need to develop a thermal comfort rating system for the building assessment, to be presented along with the energy certification. In order to do that, it is necessary to start off with the existing literature on indoor comfort evaluation models along with the analysis of some sustainable rating systems for buildings.

Keywords

Indoor environmental quality, Comfort, Green building rating systems, IEQ model, Analytic Hierarchic Process

1. INTRODUZIONE

La recente Direttiva Europea 2010/31/EU ha introdotto il concetto di “edifici a energia quasi zero” (*Nearly Zero Energy Building*), definiti come edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno, molto basso o quasi nullo, sia coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili. Tale definizione si inserisce all’interno di un filone normativo che ha talvolta ristretto la concezione della sostenibilità edilizia ad una visione energetica del sistema edificio-impianto, basata su prestazioni ed efficienza. La stessa valutazione della sostenibilità di un edificio viene effettuata tramite un sistema di certificazione basato su numeri e parametri facilmente misurabili, più che sul tipo e sulla qualità delle scelte progettuali. Questo approccio rischia però di tralasciare quello che forse è il compito principale di un edificio, ovvero garantire un ambiente interno confortevole per gli occupanti. Un edificio prestazionale dal punto di vista energetico è anche confortevole? Diversi studi hanno dimostrato come efficienza energetica e comfort interno spesso s’influenzano in maniera opposta e come quest’interazione non possa essere trascurata ai fini di ottenere un edificio sostenibile e vivibile dai suoi utenti. Oltre ai fattori puramente quantitativi, come i parametri fisici e gli elementi tecnologici, vi è tutta una serie di fattori qualitativi, legati ad aspetti psicologici, sociali e culturali, che influenzano la nostra percezione degli ambienti e che necessitano di essere considerati nel determinare la reale sostenibilità di un edificio. Oggi il comfort viene infatti definito dall’ASHRAE come “condizione psicofisica nella quale l’individuo esprime soddisfazione nei confronti del microclima”. Molti

* Corresponding author. Tel.: 0461-282622; fax: 0461-282672; e-mail: alessia.gadotti@unitn.it

studi hanno confermato infatti che gli occupanti considerano confortevole un intervallo maggiore di temperature se hanno accesso a possibilità di adattamento adeguate, come il controllo diretto e personale delle condizioni ambientali. In questa teoria adattiva del comfort, l'occupante di un edificio non è più semplicemente inteso come un soggetto passivo, così come appariva nel modello statico di Fanger, ma come un agente attivo che interagisce a tutti i livelli con l'ambiente. Quest'ultimo approccio è stato accolto anche dalle normative di settore, come la UNI EN 15251:2008, norma che contiene un metodo di classificazione della qualità dell'ambiente interno sulla base di valori assunti da diversi parametri relativi a tutti gli aspetti del comfort interno, ossia la qualità dell'aria interna, l'ambiente termico, l'illuminazione e l'acustica. In questo quadro complesso, si riscontra tuttavia la necessità di un sistema di classificazione del comfort di un edificio da accompagnare all'attestato di prestazione energetica, applicando quindi un approccio integrato che tenga in considerazione i numerosi aspetti che danno luogo alla sostenibilità di un edificio senza restringere questo sistema articolato al solo calcolo della sua prestazione energetica finale. Tale intento è alla base di un'attività di ricerca, che verrà svolta all'interno della Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica di Trento. Al fine di impostare una metodologia, è stato condotto lo stato dell'arte sui modelli di valutazione del comfort già esistenti, che verrà presentato in questo articolo.

2. STATO DELL'ARTE SULLA VALUTAZIONE DEL COMFORT

2.1 Comfort e protocolli di valutazione della sostenibilità

Negli ultimi vent'anni, l'aumento di interesse per le problematiche legate all'impatto ambientale del settore delle costruzioni ha portato alla diffusione di numerosi sistemi di valutazione delle prestazioni di sostenibilità degli edifici. Fra i protocolli più diffusi troviamo il LEED, certificazione ambientale americana, diffusa a livello internazionale e recentemente introdotta anche nel nostro paese, la certificazione inglese BREEAM e quella giapponese CASBEE. A livello nazionale si contraddistinguono il sistema di certificazione ITACA e CasaClima, sistema di certificazione energetica che attribuisce agli edifici una categoria di consumo sulla base del fabbisogno energetico, a cui è stato recentemente affiancato un protocollo di sostenibilità, CasaClimaNature. Vi sono inoltre protocolli non consolidati di autocertificazione, ovvero senza ente di controllo indipendente, che si collocano nel contesto come linee guida, come ad esempio il sistema belga Active House. Si tratta quasi sempre di procedimenti volontari, che conferiscono una certificazione di qualità che premia anche dal punto di vista del mercato edifici che rispondono a determinati requisiti. I protocolli sono basati sull'attribuzione di punteggi attribuiti alle scelte progettuali, alle tecnologie adottate o al soddisfacimento di alcuni requisiti che sono raccolti in aree di valutazione che solitamente comprendono energia, acqua, inquinamento, materiali, trasporti, ecologia del sito, qualità dell'ambiente interno. Pesi maggiori sono attribuiti alle variabili legate alla categoria energetica, che vale circa il 25% del protocollo per LEED e il 20% per BREEAM, e all'uso del sito, pari circa al 25%, mentre la macro area della qualità dell'ambiente interno assume una pesatura di circa il 15%.

Al fine di avere una traccia generale di come viene trattato il tema del comfort abitativo interno all'interno di questi sistemi, può essere interessante osservare e comparare gli aspetti che compongono la rispettiva macro

area dei requisiti richiesti dai vari protocolli. A garanzia del comfort e della salubrità degli utenti, quasi tutti riconoscono come aspetti fondamentali il benessere termo-igrometrico, il comfort luminoso, la qualità dell'aria interna e della ventilazione e il comfort acustico - quest'ultimo non considerato soltanto nel modello Active House. In aggiunta a queste aree di valutazione, il protocollo ITACA considera l'inquinamento elettromagnetico, mentre il sistema BREEAM coinvolge anche aspetti di sicurezza. Ad ogni modo, le maggiori differenze sono determinate dal livello, più o meno approfondito, con cui vengono delineate queste sottocategorie e dai parametri scelti come indicatori per ognuna di esse. Per quanto riguarda la qualità dell'aria interna, alcuni sistemi considerano solamente la concentrazione di VOC e formaldeide, altri anche la concentrazione di CO₂ e i più completi includono anche requisiti di strategie di ventilazione naturale e di controllo della ventilazione da parte degli occupanti. Anche la categoria del comfort luminoso si presenta con un ventaglio di alternative che va dal calcolo del solo fattore medio di luce diurna a protocolli che includono la luminanza media, il controllo dell'abbagliamento, la possibilità di interazione degli occupanti con il sistema di illuminazione e il comfort visuale, ovvero la qualità della vista verso l'esterno. Per quanto riguarda il comfort termico, alcuni sistemi lo definiscono tramite gli indici di Fanger, PMV e PPD, e la temperatura operativa interna; alcuni richiedono la progettazione a zone, strategica per permettere il controllo degli occupanti sulle condizioni termiche; inoltre alcuni protocolli ne effettuano la valutazione con software dinamici forniti, come nel caso di CasaClima.

Data la complessità della relazione fra l'ambiente interno e la salute e il benessere degli occupanti, tuttora non completamente compresa, l'approccio adottato, nella sezione dedicata alla qualità dell'ambiente interno, dalla quasi totalità dei sistemi di valutazione della sostenibilità studiati affianca a misure prescrittive requisiti di credito prestazionali. Ad esempio, nel sistema LEED, prima viene richiesto il controllo delle sorgenti inquinanti come prerequisito, e in seguito viene affrontata la valutazione della qualità dell'aria interna come credito, per verificare l'effettivo risultato raggiunto tramite le strategie attuate. La valutazione del raggiungimento dei criteri avviene quindi sia mediante valutazioni delle scelte progettuali adottate sia tramite prove sperimentali a fine lavori.

Per la definizione di un sistema di classificazione del comfort, si ritiene fondamentale la conduzione di un'analisi approfondita dei sistemi di certificazione ambientale già esistenti, in quanto validi punti di partenza. Dato anche il loro carattere plurale, questi strumenti si sono posti come luogo di confronto e dibattito, ma hanno sicuramente avuto un grande contributo nella diffusione dei concetti legati alla sostenibilità degli edifici definendo dei principi generali ora ampiamente riconosciuti.

2.2 Valutazione integrata del comfort

Come si è visto, il comfort ambientale è ritenuto essere il risultato dell'interazione di quattro categorie di parametri: il comfort termico, il comfort visivo, l'acustica e la qualità dell'aria interna. Alcuni studi recenti, analizzati in [1], si sono focalizzati sul cercare di valutare se queste quattro categorie siano ugualmente importanti ai fini della soddisfazione finale degli utenti. L'ipotesi è che esse non contribuiscano equamente al comfort generale percepito dagli utenti, e che l'opinione data da quest'ultimi sia influenzata da fattori soggettivi e dalle caratteristiche dell'edificio. I risultati hanno mostrato che il comfort termico viene ritenuto

leggermente più importante di quello acustico e della qualità dell'aria e considerevolmente più importante del comfort visivo o luminoso. Tale gerarchia delle categorie risulta essere fondamentale ai fini della definizione di un sistema integrato di classificazione del comfort, in quanto le prestazioni riguardanti ognuna di esse assumeranno pesi diversi a seconda del loro effettivo contributo al benessere generale percepito. Mentre gli aspetti individuali degli utenti non hanno mostrato grande influenza sul grado di comfort finale, il tipo di edificio ha dimostrato avere un forte impatto sul comfort termico. Le temperature a casa sono solitamente percepite dagli utenti come più calde di quelle in ufficio e la sensazione termica è diversa anche fra edifici climatizzati e con ventilazione naturale. Poco si conosce invece sulla potenziale correlazione fra comfort acustico, visivo e qualità dell'aria con parametri relativi non all'ambiente interno, ma agli utenti, al tipo di edificio o all'ambiente esterno.

Un modello integrato di valutazione del comfort che tenga conto di tutti questi aspetti dovrà quindi partire da una notevole quantità di dati per fornire un quadro di come lo spazio interno di un edificio sia percepito. Tali dati possono essere raccolti sia tramite misurazioni di parametri oggettivi (misurazione della temperatura dell'aria, del livello sonoro, dell'illuminanza, etc.), sia attraverso valutazioni soggettive (somministrazione di questionari agli utenti). Lo scopo di un tale sistema di valutazione è di sintetizzare i dati derivanti da tali parametri quantitativi e qualitativi in un unico punteggio o voto complessivo. Parecchi studi hanno proposto metodi di valutazione della qualità dell'ambiente interno, con sottili differenze nella metodologia con cui questi modelli vengono proposti [2]. È chiaro come, senza un protocollo coesivo, non sia possibile utilizzare tali sistemi di classificazione del comfort per comparare le prestazioni di edifici diversi. Un tentativo di standardizzazione è nato dalla collaborazione tra le tre maggiori organizzazioni del settore (ASHRAE, CISBE e USGBC), che traccia un primo protocollo integrato, il *PMP (Performance measurements protocols)*, dedicato però solamente agli edifici commerciali [3].

Ulteriori difficoltà scaturiscono dalla divergenza di opinioni relativa all'appropriata interpretazione delle categorie dell'UNI EN 15251:2008. Il principale rischio associato a tale classificazione è che si possa finire a perseguire i ristretti limiti dettati dalla classe più alta, in nome di una presunta maggior qualità associata, invece che cercare soluzioni energeticamente meno impegnative ma ugualmente soddisfacenti dal punto di vista del comfort. Estese ricerche hanno mostrato come gli utenti possano adattarsi ad un ventaglio di condizioni termiche e luminose maggiore di quelle definite confortevoli. Ha senso quindi parlare di classi di comfort o sarebbe più appropriato considerare due grandi classi di valori, accettabili e non accettabili? Risolvere questa questione, ancora aperta, risulta fondamentale al fine di creare un benchmark tramite il quale sia possibile valutare e confrontare le prestazioni di edifici diversi, ottenendo conseguentemente un database di dati uniformi sulla qualità dell'ambiente interno.

2.3 AHP

Per la determinazione dei pesi delle diverse categorie, alcuni autori utilizzano modelli statistici di regressione lineare multipla della risposta degli utenti, altri tecniche di supporto alle decisioni multi criterio come l'*analytic hierarchy process (AHP)*. Quest'ultimo metodo, sviluppato negli anni 70 da Saaty, risulta particolarmente utile quando vi è la necessità di considerare fattori sia di tipo quantitativo che qualitativo,

come appunto nel caso dei parametri che influenzano il comfort abitativo, e riflette ciò che inconsciamente avviene a livello mentale quando ci si trova davanti a un problema complesso - ovvero la scomposizione di esso e l'aggregazione delle sue parti in gruppi tra loro legati sulla base dell'importanza che rivestono nei confronti dell'obiettivo generale della valutazione [4]. Dopo aver creato un sistema gerarchico a livelli, i criteri sono confrontati a coppie assegnando un punteggio di importanza relativa rispetto all'altro secondo una scala di valori semplice. In tal modo si assegna un valore numerico a dei giudizi qualitativi. La reiterazione di questa operazione per tutti i criteri dà luogo ad una matrice da cui si ricava il vettore priorità degli elementi, che permette di visualizzare numericamente l'impatto dei singoli criteri sull'obiettivo finale. A verifica della solidità dei giudizi espressi, solitamente da esperti del settore o professionisti, viene condotta un'analisi di consistenza della matrice dei risultati.

Liu et al. hanno applicato, ad esempio, questa metodologia all'interno di una singola categoria, quella del comfort termico [5], al fine di valutare quale meccanismo di adattamento - fisiologico, psicologico o comportamentale - abbia maggior importanza nella soddisfazione finale degli utenti. Un'analisi di sensitività è stata condotta per migliorare la qualità dei risultati ottenuti. Chiang e Lai hanno invece analizzato più categorie, includendo, oltre alle quattro precedentemente dette, anche il contributo dato dall'elettromagnetismo [6]. Altri studi hanno invece considerato la sostenibilità complessiva dell'edificio, appoggiandosi all'AHP per pesare i contributi dati dalle varie categorie, in cui il comfort interno è esplicitato come categoria a sé stante, più o meno articolata. Yang et al. hanno individuato, ad esempio, sei categorie [7]. Il contributo dell'ultima, *Indoor comfort and healthy*, i cui sottocriteri erano solamente il comfort termico e luminoso, si è collocato al secondo posto come importanza, subito dopo quello dato dai carichi per il riscaldamento e raffrescamento. In un altro studio, sono state considerate tre macrocategorie: aspetti economici, aspetti ambientali e aspetti sociali [8]. La categoria sociale ha ottenuto il punteggio minore (14% contro il 43% assegnato alle altre due categorie), all'interno della quale la sottocategoria Salute e sicurezza ha ricevuto circa il 12% su quella Comfort che si è attestata solamente intorno al 2%, dovuto probabilmente al fatto che in Brasile le questioni ambientali e di sicurezza detengono ancora la priorità rispetto ad altre questioni. Stesse osservazioni possono essere condotte sullo studio di Bhatt et al. dove, su 9 categorie individuate, le prime in ordine di importanza sono relative all'efficienza energetica e all'uso delle risorse idriche mentre quella dedicata al comfort interno si classifica solo al sesto posto [9]. Da questi due casi si evidenzia una caratteristica importante dell'analisi AHP: la sua stretta relazione con il background culturale in cui viene condotta. Le tradizioni locali e le aspettative individuali possono influenzare notevolmente i giudizi dati in fase di analisi, in quanto il comfort abitativo interno è il risultato di effetti multifattoriali relativi sia a parametri fisici e non. Comprendere il peso di questi fattori è essenziale al fine di cercare di comprendere meglio questi meccanismi di adattamento da un punto di vista quantitativo, e per questo l'approccio del modello AHP risulta particolarmente adatto.

3. METODOLOGIA PER UNA NUOVA PROPOSTA

Sotto un profilo progettuale, l'analisi condotta ha permesso di identificare i parametri progettuali che maggiormente influenzano la valutazione del comfort. La definizione di un sistema di classificazione dovrà richiamarsi agli indici comunemente utilizzati e presenti nelle normative in vigore (quali, per esempio, PMV e PPD per il comfort termico, il fattore di luce diurna per il comfort luminoso e così via) o nei sistemi di valutazione della sostenibilità esistenti, affidando dei pesi a tali indicatori in base a giudizi che tengano conto di parametri come la destinazione d'uso dell'edificio, la tipologia di utenza, il rapporto con l'ambiente esterno. Mantenendo la suddivisione in quattro macro aree (benessere termoigrometrico, qualità dell'aria, comfort luminoso e acustico), maggiori ricerche andranno condotte per migliorare la robustezza dello schema di pesatura e per indagare le relazioni intra-categorie, non considerate nei modelli finora affrontati. Inoltre andranno definiti gli indicatori caratteristici per ogni area di valutazione e fissate alcune convenzioni riguardanti la loro modalità di misurazione dei parametri (localizzazione spaziale e temporale dei sensori, la loro accuratezza, etc.); per farlo, si dovrà partire dai tentativi di standardizzazione in atto, come il già citato PMP. Si ritiene che, oltre a quelli già individuati e riconosciuti ampiamente in letteratura, vi sia la necessità di prendere in considerazione ulteriori indicatori, come la qualità della vista sull'esterno o il colore delle superfici interne, i cui effetti sulla salute e sul benessere degli occupanti non sono ancora stati analizzati a fondo. In questo senso, un approccio di tipo AHP sembra essere il più promettente.

4. CONCLUSIONI

I tentativi di schematizzazione quantitativa della valutazione del comfort hanno la potenzialità di trasformare misurazioni e parametri, implementati e standardizzati, in punteggi di un sistema di classificazione integrato. Tale modello non sembra lontano dalla realizzazione e richiede ulteriori ricerche sulla strada intrapresa e qui presentata, con la convinzione che abbia la potenzialità di stimolare il mercato e di motivare i progettisti e gli operatori di settore, così come avvenuto con l'introduzione della certificazione energetica.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] M. Frontczak e P. Wargocki, Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, *Building and Environment*, vol. 46, pp. 922-937, 2011.
- [2] D. Heinzerling, S. Schiavon, T. Webster e E. Arens, Indoor environmental quality assessment models: a literature review and a proposed classification scheme, *Building and Environment*, vol. 70, pp. 210-222, 2013.
- [3] ASHRAE/CISBE/USGBC, Performance measurement protocols for commercial buildings, Atlanta: ASHRAE, 2010.
- [4] T. L. Saaty, How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, vol. 48, n. 1, pp. 9-26, 1990.
- [5] J. Liu, R. Yao e R. McCloy, A method to weight three categories of adaptive thermal comfort, *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 313-320, 2012.
- [6] C. M. Chiang e C. M. Lai, A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan, *Building and Environment*, vol. 37, pp. 387-392, 2002.
- [7] Y. Yang, B. Li e R. Yao, «A method of weighting indicators of energy efficiency assessment in residential building in China,» in PLEA 2008 - 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 2008.
- [8] L. VillarinhoRosa e A. N. Haddad, «Building sustainability assessment throughout multicriteria decision making,» *Journal of Construction Engineering*, vol. 9, 2013.
- [9] R. Bhatt, J. E. M. Macwan, D. Bhatt e V. Patel, «Analytical hierarchy process approach for criteria ranking of sustainable building assessment: a case study,» *World Applied Sciences Journal*, vol. 8, n. 7, pp. 881-888, 2010.