POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Sviluppo di un sistema per la valutazione della qualità ambientale interna e del comfort percepito dagli utenti

Original
Sviluppo di un sistema per la valutazione della qualità ambientale interna e del comfort percepito dagli utenti / Fissore, V.I.. - ELETTRONICO. - (2024). (50° Convegno Nazionale AIA Taormina 29-31 maggio 2024).

Availability:
This version is available at: 11583/2995552 since: 2024-12-18T09:58:08Z

Publisher:
Associazione Italiana di Acustica

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

11 November 2026

Associazione Italiana di Acustica
50° Convegno Nazionale
Taormina, 29-31 Maggio 2024

SVILUPPO DI UN SISTEMA PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE INTERNA E DEL COMFORT PERCEPITO DAGLI UTENTI

Virginia Isabella Fissore (1)

1) Politecnico di Torino, Dipartimento Energia "Galileo Ferraris", Torino, virginia.fissore@polito.it

SOMMARIO

La qualità ambientale interna (domini acustico, termico, visivo e qualità dell'aria) influenza la salute e il comfort delle persone, nonché le prestazioni dell'edificio e i consumi energetici. Questo lavoro presenta lo sviluppo di un sistema per il monitoraggio dei parametri ambientali, la raccolta di feedback soggettivi sulla percezione del comfort e la comunicazione di questi dati ai gestori e agli utenti delle infrastrutture edilizie tramite un'interfaccia web appositamente progettata.

1. Introduzione

Al giorno d'oggi le persone trascorrono la maggior parte del loro tempo in ambienti chiusi, dove sono influenzate da una moltitudine di fattori che determinano la qualità dell'ambiente stesso. La ricerca nell'ambito della qualità ambientale interna – Indoor Environmental Quality (IEQ) - studia questi fattori, e in particolare le condizioni termiche, di illuminazione, acustiche e dell'aria che influenzano la salute, il benessere e il comfort degli utenti [1]. I parametri che descrivono questi quattro domini possono contribuire alla manifestazione di sintomi tipici della Sick Building Syndrome (SBS), quali stanchezza, mal di testa, irritazione del naso, degli occhi e della pelle [2]. Garantire ambienti salubri è diventata una delle principali preoccupazioni e le normative nazionali e internazionali, insieme ai protocolli di certificazione di edilizia sostenibile, specificano i requisiti da soddisfare per questo scopo.

Per valutare la soddisfazione degli utenti rispetto all'ambiente in cui si trovano viene applicato il metodo della Post-Occupancy Evaluation (POE), che consiste nella somministrazione di questionari agli utenti [3]. Tuttavia, esistono fattori come le ore di permanenza all'interno dell'edificio, la tipologia di ufficio, il luogo di residenza [4] e l'età delle persone [5] che influenzano la percezione del comfort e devono essere considerati a loro volta.

Per il monitoraggio dei parametri dell'IEQ vengono sempre più utilizzati sensori a basso costo e la loro combinazione in un singolo strumento consente la valutazione completa tramite una soluzione meno invasiva delle condizioni dell'ambiente. Tuttavia, le domande relative alle prestazioni dei sensori a basso costo sono ancora aperte, poiché questi non soddisfano i requisiti degli strumenti di riferimento equivalenti a livello normativo e poiché non sono state definite specifiche procedure di calibrazione [6]. Sono già stati sviluppati diversi prototipi di multi-sensori, ad esempio il dispositivo a basso costo di Tiele et al. [7], il Sentient Ambient Monitoring of Buildings in Australia (SAMBA) di Parkinson et al. [8], il dispositivo Intelligent Built Environment Monitor (IBEM) di Geng et al. [9]. Insieme allo sviluppo del dispositivo, viene calcolato un indice IEQ per comunicare le condizioni ambientali agli utenti.

In questo lavoro viene presentato lo sviluppo di un sistema in grado di monitorare i parametri dell'IEQ, calcolare un indice IEQ, raccogliere i feedback degli utenti sulla loro percezione del comfort e infine comunicare queste informazioni mediante un'interfaccia web. Lo scopo di questo sistema, denominato PROMET&O (PROactive Monitoring for indoor EnvironmenTal quality & cOmfort), è quello di correlare i dati oggettivi e soggettivi, fornire informazioni per un uso più consapevole dei sistemi edilizi e fornire agli utenti suggerimenti e maggiori informazioni sul tema dell'IEQ, promuovendo un comportamento proattivo verso il miglioramento della qualità dell'ambiente.

2. Sviluppo del sistema

Il sistema PROMET&O è composto da tre blocchi: (i) il multi-sensore, (ii) una piattaforma cloud, (iii) un'interfaccia utente che include un questionario e consente la visualizzazione dei dati. I prossimi paragrafi li dettaglieranno.

2.1 Multi-sensore per il monitoraggio della qualità ambientale interna

Le principali normative nazionali e internazionali e i protocolli di certificazione di edilizia sostenibile sono stati analizzati per selezionare i parametri dei domini termico, visivo, acustico e di qualità dell'aria da monitorare con il multi-sensore per la valutazione delle condizioni dell'ambiente interno (mostrati in Tab. 1) [10]. I sensori disponibili sul mercato sono stati selezionati in base al range di misura, all'incertezza, al costo, alle dimensioni e al consumo energetico. La calibrazione dei sensori è stata realizzata come descritto in [11].

Tabella 1 – Parametri monitorati con il multi-sensore PROMET&O e soglie di riferimento per gli uffici.

Parametro	Soglia	Fonte
Temperatura	Inverno: (20-24) °C	ISO 7730:2005
	Estate: (23-26) °C	
Umidità relativa	(30-70) %	
Illuminamento	≥ 500 lx	EN 12464-1:2021
Livello di pressione sonora	≤ 45 dB(A)	NF S 31-080
Anidride carbonica (ΔCO_2)	≤ 800 ppm	EN 16798-1:2019
Monossido di carbonio	Media 15 min. ≤ 100 mg/m^3	EN 16798-1:2019 (WHO Guidelines)
	Media 1 h ≤ 35 mg/m^3	
	Media 8 h ≤ 10 mg/m^3	
	Media 24 h ≤ 7 mg/m^3	
Diossido di azoto	Media 1 h ≤ 200 µg/m^3	
	Media annuale ≤ 20 µg/m^3	
Particolato (PM2.5)	Media 24 h ≤ 25 µg/m^3	
	Media annuale ≤ 10 µg/m^3	
Particolato (PM10)	Media 24 h ≤ 50 µg/m^3	
	Media annuale ≤ 20 µg/m^3	
Formaldeide	Media 30 min. ≤ 100 µg/m^3	
Composti organici volatili	≤ 500 µg/m^3	WELL Building Standard

I parametri sono monitorati dai sensori, i loro segnali di uscita vengono campionati con una specifica frequenza, ven-

Associazione Italiana di Acustica, 2024
ISBN: 978-88-88942-69-8

CC BY

gono eseguiti calcoli statistici e infine tutti i dati sono trasferiti al modulo WiFi per essere inviati alla piattaforma cloud.

La Fig. 1 mostra il multi-sensore e la disposizione dei suoi componenti interni. È stato stampato in 3D con una forma cilindrica di 188 mm di altezza e 130 mm di diametro. I sensori sono montati verticalmente su un pannello a forma di V e separati dagli altri componenti hardware tramite un pannello verticale centrale. Il microfono e il sensore di illuminamento sono posizionati orizzontalmente sulla parte superiore, dove il coperchio è stato forato. Una serie di piccoli fori e quattro aperture più grandi sul fondo sono stati progettati per ridurre il surriscaldamento all'interno del dispositivo e fornire ai sensori un accesso diretto all'aria esterna. Il multi-sensore stesso fornisce agli utenti informazioni sulla qualità dell'ambiente attraverso due serie di dieci LED, che si accendono in numero proporzionale all'indice IEQ calcolato a partire dai parametri monitorati. Tale indice consiste in un valore percentuale ed è calcolato come valore medio degli indici dei domini di qualità termica, acustica, di illuminazione e dell'aria. Questi sono calcolati secondo un principio di conformità con le soglie indicate dalle normative dei parametri monitorati in uno specifico lasso di tempo.

Figura 1 - Fotografia del multi-sensore e della disposizione dei suoi componenti interni.

2.2 Piattaforma cloud

PROMET&O utilizza il protocollo Message Queue Telemetry Transport (MQTT) per il trasferimento dei dati al server cloud. Le misurazioni contenute nei messaggi MQTT vengono salvate nel database MySQL, quindi vengono eseguite le aggregazioni dei dati. Infine, una Application Programming Interface (API) è usata per l'accesso esterno a questi dati.

2.3 Interfaccia utente: questionario e visualizzazione dei dati

Il questionario è stato sviluppato e validato [12] per la raccolta di feedback degli utenti sulla percezione del comfort globale, del comfort relativo ai singoli domini e di informazioni personali, fornite su base volontaria. L'obiettivo è somministrare un questionario veloce da compilare ma efficace, in modo da ottenere un elevato numero di risposte da parte degli utenti con una soluzione il meno possibile invadente.

L'interfaccia sviluppata (Fig. 2) mira ad aumentare la consapevolezza degli utenti fornendo loro maggiori informazioni sull'IEQ e mostrando la qualità termica, dell'illuminazione, acustica e dell'aria, attuale e passata, dell'ambiente in cui si trovano. Tali valori sono confrontabili graficamente con le percentuali di comfort soggettivo calcolate per ciascun dominio a partire dalle risposte al questionario fornite dall'utente.

Per la gestione della visualizzazione dei dati è fondamentale l'integrazione in un'applicazione web, sviluppata in React, di un'applicazione web di dashboard (Grafana) e di un software per la gestione dell'identità e degli accessi - Identity and Access Management (IAM) - (Keycloak).

Figura 2 - Schermata dell'interfaccia web che rappresenta i valori in tempo reale del livello di pressione sonora.

3. Conclusioni e prospettive future

La correlazione tra la qualità termica, acustica, dell'illuminazione e dell'aria degli ambienti interni con la salute, il benessere, il comfort e le prestazioni lavorative degli utenti è dimostrata dai risultati presenti in letteratura. Questo lavoro presenta la progettazione e lo sviluppo del sistema PROMET&O, che comprende un multi-sensore a basso costo per il monitoraggio dei parametri della qualità ambientale interna e un questionario per la raccolta di feedback soggettivi sulla percezione del comfort e la raccolta di informazioni personali dell'utente. Infine, i dati sono mostrati in un'interfaccia web sviluppata appositamente. Tale sistema consente (i) la correlazione in tempo reale dei dati oggettivi e soggettivi, (ii) il coinvolgimento dell'utente attraverso l'interfaccia e la visualizzazione del livello di IEQ grazie al feedback luminoso dei LED ed infine (iii) di promuovere il risparmio energetico migliorando al contempo l'IEQ e il comfort.

4. Bibliografia

[1] Bluyssen P. M., *Towards an integrated analysis of the indoor environmental factors and its effects on occupants*, Intell. Build. Int, **12** (2020), pp. 199–207

[2] Ghaffarianhoseini A. et al., *Sick building syndrome: are we doing enough?*, Archit. Sci. Rev, **61** (2018), pp. 99–121

[3] Choi J. H., Lee K., *Investigation of the feasibility of POE methodology for a modern commercial office building*, Build. Environ, **143** (2018), pp. 591–604

[4] Chen C. F. et al., *The impacts of building characteristics, social psychological and cultural factors on indoor environment quality productivity belief*, Build. Environ, **185** (2020), 107189

[5] Choi J. H., Moon J., *Impacts of human and spatial factors on user satisfaction in office environments*, Build. Environ, **114** (2017), pp. 23–35

[6] Ródenas García M. et al., *Review of low-cost sensors for indoor air quality: Features and applications*, Appl. Spectrosc. Rev, **57** (2022), pp. 747–779

[7] Tiele A., Esfahani S., Covington J., *Design and development of a low-cost, portable monitoring device for indoor environment quality*, J. Sensors, **2018** (2018).

[8] Parkinson T., Parkinson A., de Dear R. *Continuous IEQ monitoring system: Context and development*, Build. Environ, **149** (2019), pp 15–25

[9] Geng Y. et al., *An Intelligent IEQ Monitoring and Feedback System: Development and Applications*, Engineering, **18** (2022), pp. 218–231

[10] Fissore V. I., Fasano S., Puglisi G. E., Shtrepi L., Astolfi A. *Indoor Environmental Quality and Comfort in Offices: A Review*, Buildings, **13** (2023), 2490

[11] Astolfi A. et al., *Development and Metrological Characterization of a Multi-sensor Device for Indoor Environmental Quality (IEQ) monitoring*, in Atti del Convegno "IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment", Milano, 29-31 maggio 2023, pp. 179–184

[12] Fissore V. I. et al., *Definition of a methodology for occupants' feedback collection on perceived indoor environmental comfort*, in Atti del Convegno "Healthy Buildings 2023 Europe", Aachen, 11-14 giugno 2023