

UV-FACTS
SERIE ARTICOLI
GENNAIO 2026

Clear Clean Air: standard ASHRAE 241 spiegato

Approfondimenti sull'ultimo studio sull'applicazione dello standard 241 di PNLL e Berkeley Lab e del loro simulatore "EnergyPlus™".

Lo Standard ASHRAE 241 stabilisce una relazione diretta tra la riduzione della trasmissione delle malattie per via aerea e la quantità di Equivalent Clean Air (ECA) fornita agli ambienti interni. In termini pratici, l'aria pulita equivalente è aria che è stata efficacemente depurata dagli aerosol infettivi, sia tramite ventilazione, filtrazione, tecnologie UV-C (GUV) o purificatori d'aria portatili. La fornitura di aria pulita richiede sempre energia, sia sotto forma di elettricità per i dispositivi di trattamento dell'aria, sia come carico aggiuntivo di riscaldamento e raffreddamento per gli impianti HVAC.

Sebbene numerosi studi abbiano analizzato questi aspetti, solo pochi hanno valutato direttamente applicazioni reali dello Standard 241 e il loro impatto sui consumi energetici degli edifici. L'obiettivo di questo white paper è tradurre tali risultati in informazioni chiare e accessibili, anche per lettori non specialisti, consentendo a proprietari di edifici, progettisti e fornitori di tecnologie di comprendere meglio come implementare lo Standard ASHRAE 241.



La qualità dell'aria interna (IAQ) è diventata una priorità centrale per gestori di edifici, progettisti HVAC e decisori pubblici impegnati nella riduzione della diffusione di agenti infettivi aerodispersi. Sebbene ventilazione e filtrazione siano da tempo considerate le basi di ambienti interni salubri, le ricerche più recenti evidenziano l'importanza di combinare più tecnologie — incluse quelle UV-C/GUV, purificatori portatili e strategie ibride — per ottenere soluzioni efficaci ed efficienti dal punto di vista energetico.

Nel 2023, ASHRAE ha introdotto lo **Standard 241 – Control of Infectious Aerosols**, definendo il primo quadro globale basato sulle prestazioni per la riduzione della trasmissione aerea dei patogeni negli

edifici. Basandosi su decenni di ricerca sulla IAQ, lo Standard 241 sposta l'attenzione dalla sola ventilazione al concetto più ampio e flessibile di **Equivalent Clean Air**.

Un articolo peer-reviewed pubblicato su *Building and Environment* (2025), intitolato “**Analysis of strategies to meet ASHRAE S241 infectious aerosol control targets by space type and region using EnergyPlus™ simulations**”, analizza come diverse tipologie edilizie e zone climatiche possano soddisfare i requisiti dello Standard 241 attraverso una combinazione di strategie simulate con EnergyPlus™.

2. PANORAMICA DELLO STANDARD ASHRAE 241

2.1 Scopo dello Standard

Lo Standard ASHRAE 241 definisce i requisiti minimi per ridurre il rischio di trasmissione delle malattie infettive per via aerea negli edifici. A differenza delle linee guida tradizionali basate esclusivamente sulla ventilazione, introduce un approccio prestazionale che considera diversi meccanismi in grado di fornire aria priva o ridotta di patogeni.

2.2 Il concetto di aria pulita equivalente (ECA)

Il cuore dello standard è il concetto di **Equivalent Clean Airflow (ECA)**, definito come la somma dell'aria pulita fornita tramite:

- ventilazione con aria esterna,
- filtrazione meccanica,
- purificatori d'aria portatili (PAC),
- irraggiamento germicida UV-C (GUV),
- altre tecnologie di disinfezione dell'aria validate.

Tutti questi meccanismi contribuiscono a un unico obiettivo misurabile: il volume totale di aria “pulita” fornita agli occupanti.

2.3 Requisiti per tipo di spazio

Lo Standard 241 stabilisce obiettivi di ECA in base alla tipologia di occupazione, al livello di attività e al rischio di trasmissione. I valori tipici variano da:

- **10 L/s per persona** per ambienti a basso rischio o occupazione standard,
- fino a **40–45 L/s per persona** per ambienti densi o ad alto rischio.

2.4 Perché la standard 241 è importante

Lo Standard 241 è rilevante perché:

- formalizza **strategie di pulizia dell'aria** che vanno **oltre la sola ventilazione**;
- consente **flessibilità** nella **combinazione delle tecnologie**;
- supporta **approcci energeticamente efficienti**, soprattutto nei climi in cui l'aumento della porzione di aria esterna è oneroso;
- permette **una gestione del rischio più chiara** per scuole, strutture sanitarie, uffici e spazi pubblici.

3. ANALISI APPROFONDATA DELLO STUDIO PNLL E BERKELEY LAB 2025 UTILIZZANDO SIMULAZIONI ENERGYPLUS™

Lo studio del 2025 condotto dal **Pacific Northwest National Laboratory (PNLL)** rappresenta uno dei **tentativi più completi di tradurre il quadro teorico dello Standard ASHRAE 241 in strategie edilizie concrete e quantificabili**. Invece di analizzare le tecnologie singolarmente, gli autori hanno adottato un approccio basato su simulazioni per valutare come combinazioni di ventilazione, filtrazione e tecnologie di disinfezione — inclusi gli UV-C — possano soddisfare o superare i requisiti di ECA in diverse tipologie di ambienti e zone climatiche.

3.1 Fondamenti e obiettivi della ricerca

Lo studio si basa sulla struttura prestazionale dello Standard 241, riconoscendo che **il controllo degli aerosol infettivi non può dipendere esclusivamente dalla ventilazione**. L'obiettivo non è solo calcolare i valori di ECA, ma comprendere il comportamento reale dei sistemi HVAC in condizioni climatiche, architettoniche e operative differenti.

Vengono analizzate diverse categorie di ambienti — uffici, aule scolastiche, ambulatori, unità residenziali e spazi commerciali — ciascuna caratterizzata da densità di occupazione e schemi di attività differenti. **Un obiettivo chiave è fornire a decisori pubblici e progettisti indicazioni utili per individuare strategie conformi allo standard senza compromettere le prestazioni energetiche o il comfort termico.**

3.2 Approccio metodologico

I ricercatori utilizzano **EnergyPlus™**, uno dei **software di simulazione delle prestazioni edilizie più avanzati e validati, per modellare il comportamento dei flussi d'aria, gli scambi energetici, l'efficienza di filtrazione, l'efficacia dei stemi UV-C/GUV e i tassi di rimozione degli aerosol**. Dataset climatici specifici consentono di rappresentare carichi termici realistici in diverse aree geografiche.

A differenza di molti studi precedenti focalizzati esclusivamente sull'aumento delle portate di ventilazione, questo lavoro integra le interazioni dinamiche tra sistemi HVAC e tecnologie di disinfezione dell'aria. Gli scenari simulati includono l'aumento dell'aria esterna, il miglioramento della filtrazione (da MERV 8 a MERV 13 o superiori), l'installazione di GUV in canale, GUV a zona superiore e l'uso di purificatori portatili. Ogni scenario viene valutato sia in termini di contributo all'ECA sia di impatto energetico.

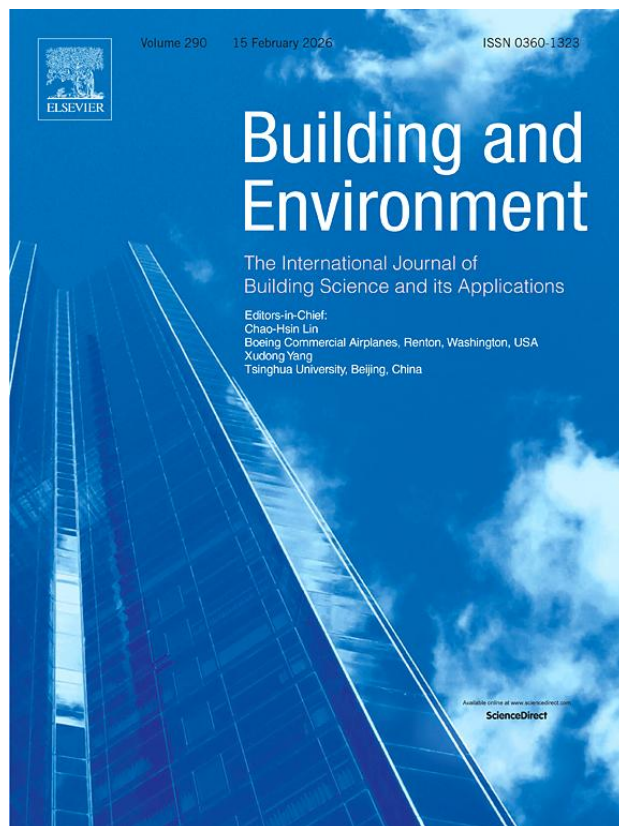


Tabella 1. Confronto esemplificativo dei livelli di ECA_i tra diversi standard (da inserire)

| Space Type | Design Occupancy (per 100 m ²) | ASHRAE 62.1 (L/s/person) | ASHRAE 170 (L/s/person) | ASHRAE 241 (L/s/person) |
|----------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Office | 5 | 8.5 | N/A | 15 |
| Classroom | 35 | 6.7 | N/A | 20 |
| Restaurant dining area | 70 | 5.1 | N/A | 30 |
| Healthcare waiting room | 32 | N/A | 4.8 | 45 |

Misure esaminate nello studio nello studio**

- **Aumento della ventilazione con aria esterna:** incremento del 30% della portata rispetto ai valori di riferimento ASHRAE 62.1 / 170.
- **Filtrazione HVAC:** MERV 13 per la maggior parte delle analisi; MERV 14 per sale d'attesa sanitarie; MERV 8 come baseline. Filtri HEPA esclusi per limiti di perdita di carico.
- **GUV in canale:** aria pulita calcolata in funzione di portata, volume irradiato, tempo di esposizione e dose UV.
- **GUV in ambiente:** limiti massimi di fluenza pari a 75 µW/cm² per sistemi upper-room a 254 nm e 1,5 µW/cm² per sistemi "whole-room" a 222 nm.
- **Purificatori portatili (PACs):** modellati in base a CADR, consumo energetico e dissipazione termica; CADR massimo circa 78 L/s per 20,9 m².

Tabella 2. Riepilogo dei prototipi di edifici studiati

| Prototype | Space Type of Interest | Studied Floor Area (m ²) | HVAC System Details |
|-------------------------|---------------------------|---|--|
| Medium office | Office | 1661 | Multi-zone VAV with reheat, gas central heating & electric reheat, packaged DX cooling |
| Secondary school | Classroom | 2304 | Multi-zone VAV with reheat, gas boiler hot water heating, chiller plant cooling |
| Full-service restaurant | Dining area | 372 | Single-zone CAV, gas furnace heating, packaged DX cooling |
| Outpatient healthcare | Waiting room | 91 | Multi-zone VAV with reheat, gas boiler heating, packaged DX cooling |

Modelli prototipi di edifici (Tabella 2)

Ufficio di medie dimensioni, scuola secondaria, ristorante, assistenza sanitaria ambulatoriale—ognuno con configurazioni HVAC uniche che influenzano il potenziale di conformità alla normativa S241.

Tabella 4. Riepilogo delle Zone Climatiche Studiate

| Representative City | ASHRAE Climate Zone | Median Outdoor Air Temperature (°C) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Tampa, FL | 2A (hot and humid) | 23.7 |
| San Diego, CA | 3C (warm and marine) | 16.0 |
| New York, NY | 4A (mixed and humid) | 12.6 |
| Seattle, WA | 4C (mixed and marine) | 11.1 |
| Buffalo, NY | 5A (cool and humid) | 9.4 |
| Great Falls, MT | 6B (cold and dry) | 7.4 |
| International Falls, MN | 7 (very cold) | 5.0 |

Zone climatiche studiate (Tabella 4)

Sono state **utilizzate sette zone climatiche rappresentative degli Stati Uniti**, che vanno dalla calda/umida Tampa alle molto fredde International Falls.

3.3 Risultati e interpretazione

I risultati dello studio rivelano che le strategie per ottenere la conformità differiscono sostanzialmente a seconda del clima, del tipo di edificio e delle prestazioni di base del sistema.

In molti climi caldi o freddi, aumentare l'aria esterna da sola crea notevoli penalità energetiche dovute ai carichi di riscaldamento o raffreddamento. Ciò rafforza il principio della Standard 241 secondo cui l'ECA dovrebbe essere rispettata tramite più percorsi e non solo ventilazione.

L'analisi del PNNL mostra che gli UV-C/GUV—sia installato in condotti sia come sistemi in upper room—svolge un ruolo decisivo nel raggiungere in modo efficiente gli obiettivi ECA. Poiché la tecnologia UV-C inattiva i patogeni senza richiedere l'apporto di aria esterna aggiuntiva, offre un **rapporto eccezionalmente favorevole tra consumo energetico e aria pulita fornita.**

In alcuni scenari, il GUV diventa l'unica opzione praticabile per raggiungere soglie più elevate dell'ECA senza costose revisioni HVAC. Lo studio sottolinea inoltre che i sistemi HEPA portatili e la filtrazione migliorata possono contribuire in modo significativo, soprattutto in spazi piccoli o moderatamente occupati. Tuttavia, spesso mancano della capacità di garantire la conformità in stanze grandi o densamente occupate—un'area in cui il GUV dimostra vantaggi significativi.

Articolando numericamente questi risultati attraverso simulazioni EnergyPlus, **il lavoro del PNNL eleva la discussione sulle tecnologie IAQ da giudizi aneddotici a decisioni precise basate sulle prestazioni.**

Tabella 6. Aggiustamenti di progettazione quando si utilizza SARS-CoV-2 come agente di riferimento

| Measure | SARS-CoV-2 Susceptibility (cm ² /mJ) | Avg. Fluence Rate for Classroom (μW/cm ²) | Avg. Fluence Rate for Restaurant (μW/cm ²) | Avg. Fluence Rate for Waiting Room (μW/cm ²) |
|-------------------------|---|---|--|--|
| Upper Room GUV (254 nm) | 2.83 | 1.2 | 6.1 | 5.0 |
| Whole Room GUV (222 nm) | 3.79 | 0.4 | 1.4 | 1.1 |

Considerare patogeni alternativi (Tabella 6)

Quando il SARSCoV2 viene utilizzato come agente di riferimento invece che il patogeno MS2 indicato nello standard, i requisiti GUV diminuiscono drasticamente a causa della maggiore suscettibilità del virus gli UV-C. I requisiti di *fluence* diminuiscono del 93–98% per GUV in upper room.

Questo riduce il consumo energetico e consente la conformità in ambiti ad alto target IAQ dove i progetti basati su MS2 faticano a risultare compliance.

4. IMPLICAZIONI PER GLI OPERATORI DEL SETTORE**

4.1 Progettazione di sistemi per la conformità

- Soddisfare ASHRAE 241 richiede un approccio multilivello.
- Il GUV svolge un ruolo sempre più centrale grazie alla sua efficacia e ai vantaggi operativi dei costi.
- È essenziale una corretta dimensione dei contributi ECA di ciascuna tecnologia.

4.2 Opportunità di innovazione

I risultati supportano una forte adozione futura di: sistemi GUV (upper room, induct e wholeroom), soluzioni avanzate di filtrazione e sistemi intelligenti di controllo IAQ ibridi.

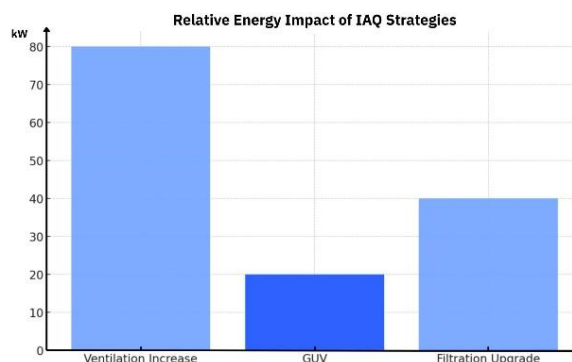
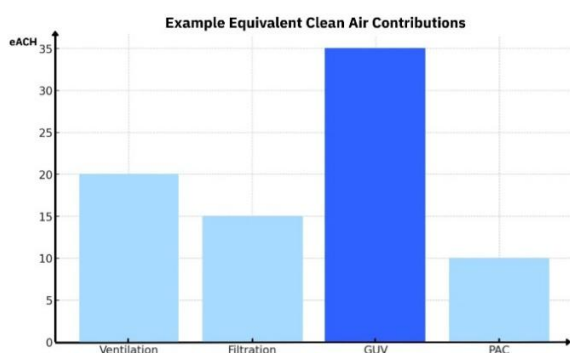
4.3 Considerazioni sull'energia e sulla sostenibilità

La conformità allo Standard 241 può essere raggiunta **senza aumentare il consumo energetico**, se vengono applicate **strategie ibride**. La tecnologia UV-C offre uno dei migliori rapporti consumo di energia VS aria pulita tra le opzioni disponibili.

5. CONCLUSIONI

Lo Standard ASHRAE 241 segna un cambiamento fondamentale nel modo in cui gli edifici affrontano il controllo degli aerosol infettivi. Lo studio EnergyPlus 2025 rafforza la necessità di strategie integrate di IAQ che combinino ventilazione, filtrazione, GUV e purificatori d'aria.

Per le aziende che creano soluzioni IAQ— questi risultati confermano l'importanza degli approcci multitecnologici e evidenziano il **ruolo strategico del GUV nel raggiungere alti livelli di Aria Pulita Equivalente mantenendo l'efficienza energetica.**



Riferimenti:

- Cary A. Faulkner, Cerrina Mouchref, Belal Abboushi, Meghan K. McNulty, Timothy I. Salisbury, Brett C. Singer, Michael D. Sohn, Gabe Arnold, *Analisi delle strategie per raggiungere i bersagli di controllo degli aerosol infettivi ASHRAE S241 per tipo di spazio e regione utilizzando simulazioni EnergyPlus™*, *Building and Environment*, Volume 287, Parte B, 2026, 113875, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113875>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132325013459>)
- ARTICOLO COMPLETO QUI: *Analisi delle strategie per raggiungere i target di controllo degli aerosol infettivi ASHRAE S241 per tipo e regione di spazio utilizzando simulazioni EnergyPlus™* - *ScienceDirect*
- ASHRAE (2023). Standard ANSI/ASHRAE 241-2023: Controllo degli Aerosol Infettivi. ASHRAE.
- ASHRAE (2023). Linea Guida ASHRAE 41P – Quantificazione dell'aria pulita equivalente.
- Bruns, R. et al. (2023). Implicazioni energetiche e di costo dell'UVGI rispetto alla ventilazione secondo gli obiettivi ASHRAE 241. *Risorse tecniche ASHRAE*.
- A. Buonomano, C. Forzano, G. Giuzio, A. Palombo, *Nuovi criteri di progettazione della ventilazione per la sostenibilità energetica e la qualità dell'aria interna in uno scenario post-COVID-19, Rinnovare. Sosteni. Energy Rev.* 182 (2023) 113378.
- M.P. Halloran, *Costo-efficacia di vari metodi di conformità dello standard ASHRAE 241-2023*, *ASHRAE J.* 66 (6) (2024).
- M. Zaatari, A. Goel, J. Maser, *Perché un flusso d'aria pulito equivalente non deve essere costoso*, *Ashrae J.* 65 (9) (2023) 18–24
- R. Bruns, *Analisi costi-benefici dello standard ASHRAE 241*, *Ashrae J.* 65 (10) (2023).
- D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, Y.J. Huang, C.O. Pedersen, R.K. Strand, R.J. Liesen, D.E. Fisher, M.J. Witte, et al., *EnergyPlus: creazione di un programma di simulazione energetica per edifici di nuova generazione*, *Energy Build.* 33 (4) (2001) 319–331.
- C.J. Noakes, M.A.I. Khan, C.A. Gilkeson, *Modellizzazione del rischio di infezione e dell'uso energetico di sistemi di irradiazione germicida ultravioletta in ambienti multi-stanza*, *Sci. Technol. Built Environ.* 21 (1) (2015) 99–111.
- E.-J. Sarabia-Escriva, V.-M. Soto-Francés, J.-M. Pinazo-Ojer, *Modello matematico basato sul metodo della radiosità per stimare l'efficienza dei sistemi UVGI a condotti*, *Sci. Technol. Built Environ.* 28 (9) (2022) 1255–1269.