



Rapporto sulle
prestazioni della
tecnologia IAQ
di Airzone



Introduzione

Airzone si impegna a fondo per garantire il benessere delle persone e proteggere l'ambiente. Per questo tutte le soluzioni di controllo progettate dall'azienda hanno l'obiettivo di raggiungere elevati livelli di comfort e di efficienza energetica.

Le persone trascorrono sempre più tempo in ambienti interni, e questo è divenuto un fatto ormai indiscutibile. Nelle zone urbane, le persone passano il 90% del tempo in luoghi chiusi [1]. Queste abitudini comportano cambi significativi nel proprio stile di vita, sia a livello di consumo negli edifici, che di necessità di un maggiore livello di comfort e qualità dell'aria interna.

Per questo Airzone ha progettato una soluzione che unisce il controllo termoigrometrico e la purificazione dell'aria fornita negli spazi occupati.

Le premesse iniziali per lo sviluppo di questa soluzione sono state le seguenti:

- Il trattamento di purificazione può essere realizzato in presenza di persone.
- Il sistema di controllo e di purificazione viene integrato nella rete di distribuzione dell'aria, sfruttando le caratteristiche dei ventilatori già esistenti.

Grazie alla tecnologia utilizzata da Airzone, è possibile controllare in modalità remota i parametri di funzionamento principali (accensione e spegnimento, modo di funzionamento, velocità del ventilatore e temperatura impostata) delle unità di climatizzazione, e di ridurre il tempo di sospensione del particolato fine nell'aria.

La soluzione di purificazione per migliorare la qualità dell'aria, progettata dall'area di ingegneria di Airzone, ha un disegno compatto. Per questo può essere facilmente collocata negli elementi di diffusione Airzone (motorizzati e non motorizzati) e nella mandata delle unità di climatizzazione zonificate con Easyzone.

Vari studi realizzati nei laboratori Airzone hanno dimostrato, a livello empirico, che l'uso di questo dispositivo comporta una riduzione del 47% nella concentrazione massima di una fonte puntuale di sostanza particellare di $2,5 \mu\text{m}$ o PM_{2,5} (dall'inglese Particulate Matter), con una diminuzione fino al 55% di tempo di sospensione di questo particolato.

Il dispositivo progettato da Airzone è stato sottoposto a test anche presso laboratori esterni, in cui si è verificato il suo effetto positivo nel combattere le allergie causate dagli acari della polvere, il pelo degli animali domestici, il fumo di sigaretta e il polline. Allo stesso modo, è stata constatata la sua efficacia nell'eliminare i composti organici volatili (COV), i batteri e i virus.

Tutti questi test ci permettono di affermare che la soluzione progettata da Airzone aumenta la qualità dell'aria interna e incrementa il risparmio energetico, poiché riduce la quantità d'aria esterna necessaria per diluire gli agenti contaminanti.

Questo rapporto raccoglie le informazioni sulle prestazioni della soluzione di purificazione progettata da Airzone.

Qualità dell'aria interna e particolato PM_{2,5}

La qualità dell'aria interna è fortemente legata all'assenza di particolato.

La sostanza particellare è un mix eterogeneo e complesso di particolato liquido e/o solido, di sostanze organiche e inorganiche, che si trova sospeso nell'aria.

La sostanza particellare fa parte dell'inquinamento dell'aria ed è un rischio per la salute delle persone. Il particolato è considerato un agente contaminante dell'aria, insieme al SO₂ (diossido di zolfo), il NO_x (ossido di azoto), il CO (monossido di carbonio), il Pb (piombo), il C₆H₆ (benzene) e l'O₃ (ozono), secondo la Direttiva 2008/50/CE [2].

La composizione della sostanza particellare è molto varia, e tra i suoi principali componenti si trovano: solfati, nitrati, ammoniaca, cloruro sodico, carbone, polveri minerali, polveri metalliche, polline, acari della polvere, fumo di sigaretta, ecc.

La sostanza particellare viene catalogata in base alla dimensione:

- Particelle grossolane: 10 µm > diametro aerodinamico equivalente > 2,5 µm.
- Particolato fine: diametro aerodinamico equivalente < 2,5 µm.

L'esposizione cronica prolungata alla sostanza particellare aumenta il rischio di malattie cardiovascolari [3], respiratorie (asma [4], disturbi polmonari [5] o allergie [6]) e il cancro al polmone [7].

Il particolato PM_{2,5}, a causa delle sue dimensioni, comporta un rischio maggiore per la salute rispetto al particolato PM₁₀, per tre motivi diversi.

- 1) Può spostarsi in profondità nei polmoni, penetrare nell'apparato respiratorio depositandosi negli alveoli polmonari, e raggiungere addirittura il flusso sanguigno, danneggiando così qualsiasi organo del corpo umano.
- 2) In genere, ha elementi più tossici rispetto al particolato più grossolano, tra cui i metalli pesanti e sostanze organiche.
- 3) È più leggero e rimane più tempo sospeso nell'aria. Tutto ciò non solo prolunga i suoi effetti negativi, ma ne facilita il trasporto.

Per questo la OMS stabilisce per il particolato PM_{2,5} una soglia di esposizione di 10 µg/m³ (media annuale) e 25 µg/m³ (media di 24 ore); mentre invece, per il particolato PM₁₀, la soglia di esposizione è di 20 µg/m³ (media annuale) e 50 µg/m³ (media di 24 ore) [8].

Tecnologia di ionizzazione

Airzone ha implementato la tecnologia di ionizzazione negativa per eliminare il particolato presente nell'aria.

La ionizzazione dell'aria è un processo che avviene quando un atomo perde o acquista elettroni, provocando uno squilibrio della carica. Le configurazioni elettriche degli ioni dell'aria così formati includono H⁺, H₃O⁺, O⁺, N⁺, OH⁻, H₂O⁻ e O⁻.

Queste molecole ionizzate agiscono come nuclei di condensazione per il particolato più piccolo, che, unendosi, cresce e aumenta la massa. In questo modo precipita più facilmente e viene catturato con filtri più grossolani.

La ionizzazione dell'aria consente di diminuire il tempo in cui il particolato rimane sospeso nell'aria, riducendone l'inalazione fino a un 46% [9], [10] e [11]. Con questa tecnica si può eliminare il 20% di particolato in più rispetto ai sistemi di filtrazione ad alta efficienza [12] e [13].

Esistono varie prove scientifiche sui benefici della ionizzazione per prevenire l'effetto delle allergie causate dagli acari della polvere, dai peli degli animali domestici, dal fumo di sigaretta o dal polline [14], [15], [16] y [17].

Le molecole ionizzate dell'aria sono anche capaci di agire sui composti organici volatili [18] e [19], eliminare i batteri (*Serratia marcescens* [20] e [21], *E. coli* [22] e [23], *Candida albicans* [24] e [23], *Staphylococcus aureus* [25] o *P. fluorescens* [26]) e inibire i virus (NDV [27] e Influenza [28]). Le molecole ionizzate deteriorano la membrana esterna dei virus ed espongono il loro RNA all'ossidazione.

La diffusione degli ioni si ottiene mediante repulsione elettrostatica. La migrazione degli ioni dipenderà dall'allineamento del campo magnetico generato tra il punto di emissione e gli oggetti che lo circondano. La concentrazione degli ioni che circondano i generatori non è omogenea, e diminuisce significativamente con la distanza. Per questo l'area per la dispersione ionica aumenterà se vengono installati con dei ventilatori.

Il processo di ionizzazione dell'aria si può realizzare in modo artificiale adottando diversi meccanismi. Negli ultimi anni, le tecniche di ionizzazione dell'aria hanno assistito a un progresso esponenziale, con un'evoluzione che parte dalle lampade a ionizzazione fino alle tecnologie di punta utilizzate da Airzone. In questo modo è stato possibile ridurre drasticamente la dimensione delle unità, e minimizzare i costi di manutenzione e sostituzione.

La situazione mondiale attuale ha diffuso l'implementazione di diverse tecnologie di purificazione dell'aria. Ma non tutte possono essere assemblate con le unità di climatizzazione convenzionali utilizzate nel settore residenziale e nel terziario. Nella Tabella 1 si riporta un confronto delle caratteristiche delle principali tecnologie esistenti presenti sul mercato, per capire meglio i motivi che hanno spinto Airzone a scegliere la tecnologia di ionizzazione.

	Ionizzazione negativa	Ozono	Luce ultravioletta	Ossidazione fotocatalitica	Filtrazione ad alta efficienza
Trattamento con occupazione	Sì	Sì Concentrazione < 100 µg/m ³ [8]	Sì Dose < 2,8 mJ/cm ² [31]	Sì	Sì
Biocida	NO Non riconosciuto ufficialmente	NO Non riconosciuto ufficialmente [29] Concentrazione > 2 mg/m ³ Ossidante che reagisce con lipidi e proteine, ma non compatibile con l'occupazione	Sì $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ Dose = 50 mJ/cm ² ($\epsilon = 99\%$) Altera il DNA e impedisce la riproduzione	Sì Ossidante di composti organici volatili e altera il DNA	NO
Restrizioni per il montaggio e la sicurezza	Livelli molto bassi di generazione di ozono	H > 2,20 m, controllo limitato e spia luminosa [30]	Evitare l'esposizione diretta	Evitare l'esposizione diretta	Rimozione di filtri protettivi
Compatibile con unità di climatizzazione e	Sì	NO Altamente reattivo e corrosivo con i metalli	Sì Evitando l'esposizione diretta sui polimeri per la degradazione foto-ossidativa [32]	Sì Evitando l'esposizione diretta sui polimeri per la degradazione foto-ossidativa [32]	NO Perdita di carica elevata
Costo	Basso	Medio	Medio	Alto	Basso
Manutenzione	Sostituzione dello ionizzatore (8 anni)	Sostituzione dello ionizzatore (4 anni)	Sostituzione della lampada (2 anni)	Sostituzione della lampada (2 anni)	Pulizia dei filtri (4 mesi)

Tabella 1. Confronto delle tecnologie di purificazione dell'aria sul mercato.

Test di laboratorio

La tecnologia progettata da Airzone è stata sottoposta a diversi test delle prestazioni. Qui di seguito si descrivono i test realizzati con i risultati ottenuti.

Eliminazione del particolato PM_{2,5}

Airzone ha un laboratorio dotato di una sala che emula le condizioni reali di un'abitazione o di un ufficio.

La sala dei test ha un volume di 70 m³, il pavimento è in gres, e il soffitto e le pareti sono in gesso. È lunga 7,15 m, larga 3,80 m e alta 2,55 m.

In questa sala è stata testata l'unità da 3,5 kW termici.

La rete di distribuzione dell'aria è formata dai seguenti elementi:

- Plenum di mandata Easyzone.
- 10 metri di condotto flessibile circolare isolato a 3 gomiti.
- Plenum per bocchetta.
- Bocchetta di diffusione da 300x150 mm.

La concentrazione di particolato PM_{2,5} avviene in modo artificiale, mediante la combustione di 4 bastoncini di incenso.

Nella prima prova, il sistema di purificazione è disattivato. Nella seconda prova, si attiva il sistema di purificazione. In entrambi i casi, viene monitorizzata l'evoluzione temporale della concentrazione del particolato PM_{2,5} mediante una rete di sensori (Honeywell HMP e Panasonic SN-GCJA5) ubicati in sala, nella mandata e nella ripresa della rete di distribuzione dell'aria.

L'unità di climatizzazione è stata testata selezionando sempre la velocità bassa. In questo modo, la portata di mandata in sala era pari a 360 m³/h (che comporta 5 ricambi/ora), con una velocità di mandata in bocchetta di circa 2,5 m/s.

L'Immagine 1 mostra l'evoluzione temporale della concentrazione misurata nel plenum di ripresa. I quattro bastoncini si consumano in circa un'ora. In questo intervallo di tempo, vediamo che la concentrazione di particolato aumenta. Il picco massimo è di 512 µg/m³ con il sistema di purificazione disattivato (linea arancione), invece con il sistema di purificazione attivato (linea verde) raggiunge solo i 273 µg/m³. Questo comporta una riduzione del 47% nella concentrazione massima in un momento determinato durante il test.

Una volta consumati i bastoncini, la concentrazione di particolato inizia a diminuire. Tuttavia, quando il sistema di purificazione è disattivato (linea arancione), sono necessarie 11 ore e 45 minuti per eliminare tutto il particolato. Invece, con il sistema di purificazione attivo (linea verde), bastano solo 5 ore e 20 minuti. Ciò significa che il tempo in cui il particolato PM_{2,5} rimane sospeso in aria diminuisce del 55% utilizzando il dispositivo Airzone.

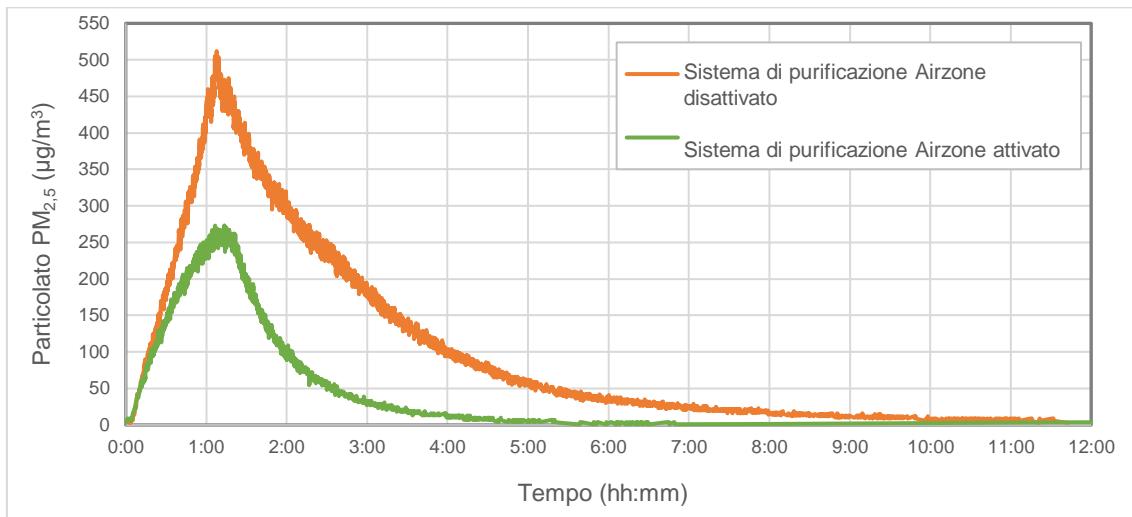


Immagine 1. Evoluzione temporale della concentrazione di particolato PM_{2,5}.

È evidente, pertanto, l'effetto benefico della soluzione Airzone sulla qualità dell'aria interna, grazie all'assenza di particolato.

Effetto deodorante sui COV

Il laboratorio giapponese Boken Quality Evaluation Institute ha dimostrato il potente effetto deodorante della soluzione di purificazione Airzone per le fonti di composti organici volatili, in modo particolare per la CH₂O (formaldeide) e il H₂S (solfuro di idrogeno).

L' Immagine 2 mostra l'evoluzione temporale della concentrazione di CH₂O. Qui si può notare una riduzione del composto organico volatile della formaldeide del 60% con un tempo di esposizione di 2 ore.

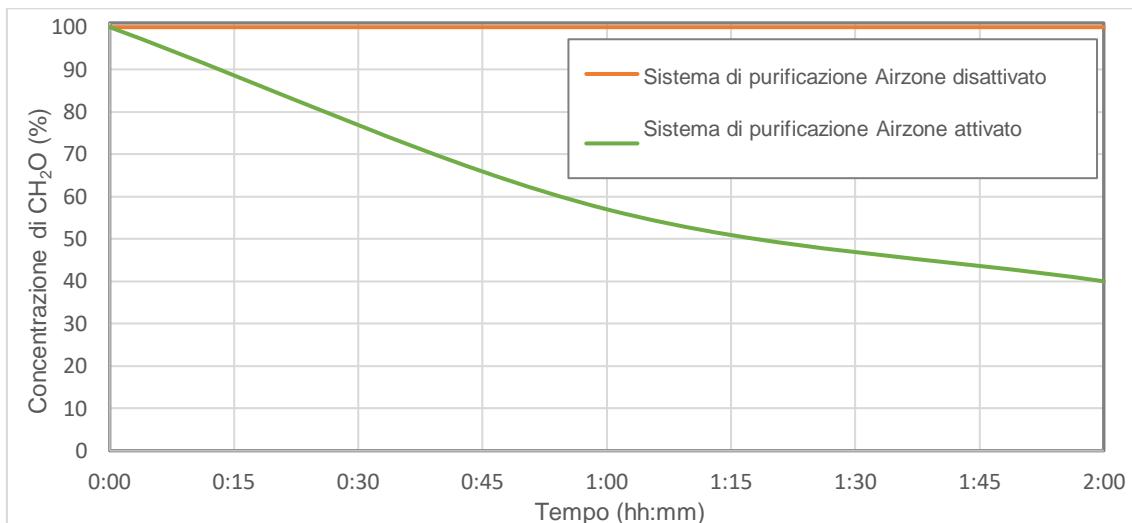


Immagine 2. Evoluzione temporale della concentrazione di CH₂O (formaldeide).

Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

L' Immagine 3 mostra l'evoluzione temporale della concentrazione di H₂S. Qui si può notare una riduzione del composto organico volatile del solfuro di idrogeno del 100% con un tempo di esposizione di 2 ore.

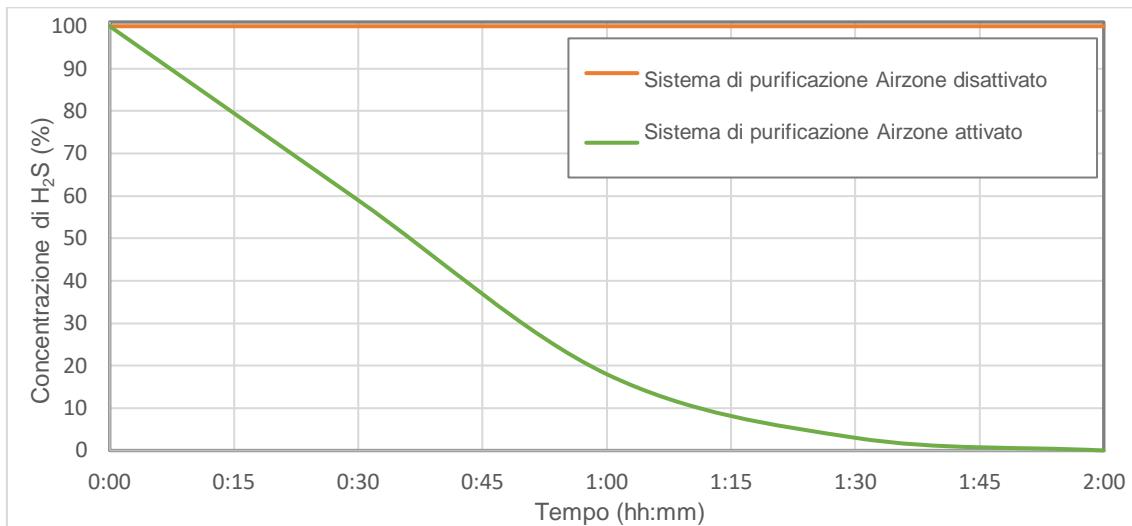


Immagine 3. Evoluzione temporale della concentrazione di H₂S (solfuro di idrogeno).
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Grazie a questi test, è possibile appurare che la tecnologia di purificazione di Airzone riduce i composti organici volatili, e attenua gli odori sgradevoli dell'ambiente.

Effetto antibatterico

Il laboratorio giapponese Boken Quality Evaluation Institute ha dimostrato l'elevato potenziale antibatterico della soluzione di purificazione Airzone, soprattutto contro il *Bacillus coli* e lo *Staphylococcus aureus*.

La Immagine 4 mostra l'evoluzione temporale delle unità che formano colonie di *Bacillus coli*. Qui vediamo che la colonia può prosperare fino a 130 ufc in un solo giorno con il sistema di purificazione Airzone disattivato (linea arancione). Invece, nello stesso intervallo di tempo, con il sistema di purificazione Airzone attivato (linea verde) viene eliminata totalmente.

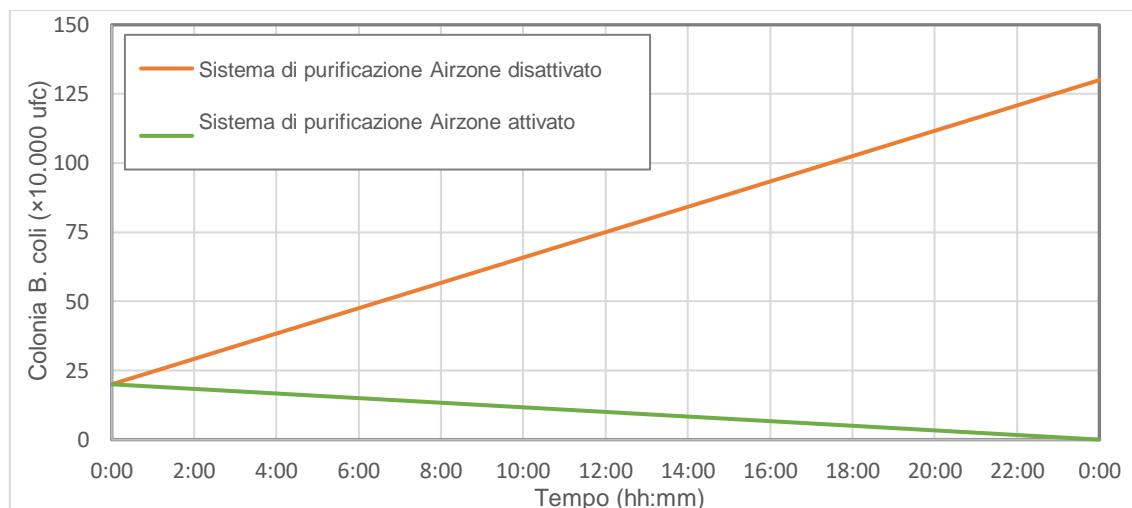


Immagine 4. Evoluzione temporale del calcolo delle unità che formano colonie di *Bacillus coli*.
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

L'Immagine 5 mostra l'evoluzione temporale delle unità che formano colonie di *Staphylococcus aureus*. Qui vediamo che la colonia può prosperare fino a 160 ufc in un solo giorno con il sistema di purificazione Airzone disattivato (linea arancione). Invece, nello

stesso intervallo di tempo, con il sistema di purificazione Airzone attivato (linea verde) viene eliminata totalmente.

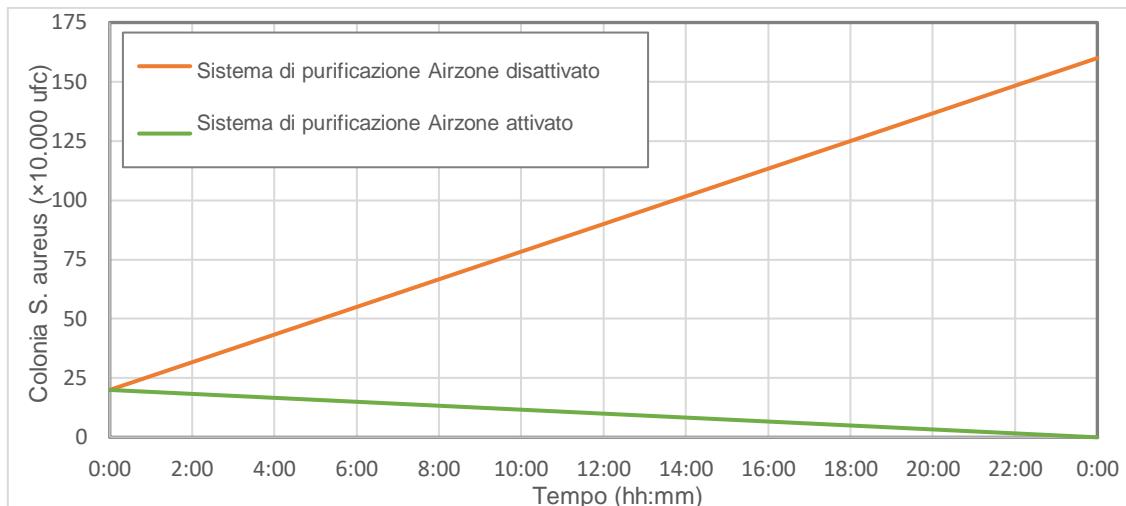


Immagine 5. Evoluzione temporale del calcolo delle unità che formano colonie di *Staphylococcus aureus*.
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Questi test rilevano che la tecnologia di purificazione di Airzone elimina vari tipi di batteri.

Effetto antivirale

L'associazione BSA (Biomedical Sciences Association) della Facoltà di Medicina veterinaria e scienze biomediche del Texas ha dimostrato l'effetto inibitore della soluzione di purificazione Airzone sul virus Influenza H3N2, grazie alla riduzione del tasso di infettività.

Il tasso di infettività è il numero di particolato virale in grado di invadere una cellula ospite.

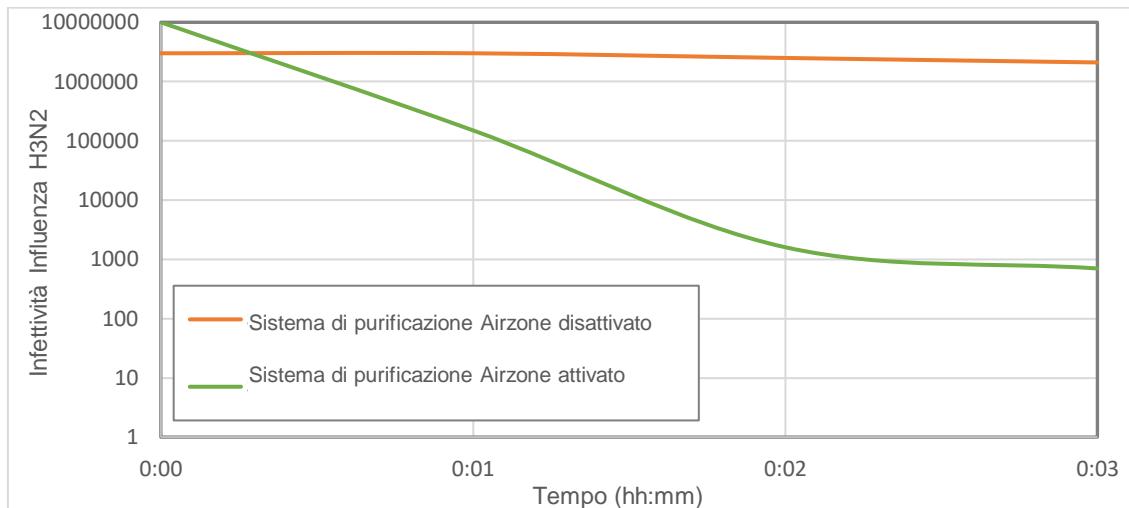


Immagine 6. Evoluzione temporale del tasso di infettività del virus Influenza H3N2.
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Biomedical Sciences Association (Texas A&M University).

L'Immagine 6 mostra l'evoluzione temporale del tasso di infettività del virus Influenza H3N2. Qui osserviamo che, quando il sistema di purificazione Airzone è disattivato (linea arancione), il tasso di infettività diminuisce solo leggermente. Invece, quando il sistema di purificazione Airzone viene attivato (linea verde), si nota un decremento logaritmico già nei due primi minuti. Dopo tre minuti di esposizione, l'infettività è diminuita da 10^7 a 700.

Pertanto, la tabella dimostra che l'esposizione diretta della tecnologia di purificazione di Airzone ha un effetto inibitore sui virus.

Dimensionamento (UL 2998)

Airzone ha prestato particolare attenzione al dimensionamento del sistema di purificazione per rispettare lo standard UL 2998 - Air cleaner validation for zero ozone emissions.

Questo standard per la sicurezza e la qualità dei prodotti negli Stati Uniti e in Canada stabilisce che nessun apparecchio domestico deve produrre una concentrazione superiore a 0,05 ppm nel volume descritto al punto 37.2 di tale standard.

Queste sale di test misurano tra i 950 e i 1100 piedi cubi (tra i 27 e i 31 m³). Inoltre, devono rispettare proporzioni specifiche. La larghezza deve essere di almeno 8 piedi (2,4 m) e l'altezza massima di 10 piedi (3 m).

Durante il test, la sala deve rimanere in condizioni stabili. La temperatura dovrà essere di 77 ± 4 °F (25 ± 2 °C) e l'umidità relativa di 50 ± 5 per cento.

Il prodotto sottoposto a test deve trovarsi al centro della sala, a una distanza dal pavimento di 30 pollici (762 mm).

L'emissione di ozono viene controllata per 24 ore per determinare la concentrazione.

Nelle condizioni del test, la densità dell'ozono è di 2,14 kg/m³ e la massa molare 48 g/mol. La densità dell'aria è di 1184 kg/m³.

Con tutte queste informazioni, e considerando la quantità di ozono generata come sottoprodotto della ionizzazione (15 mg/h a ionizzatore) certificata da Murata nel suo rapporto JEHVAA-0141B, bisogna rispettare il volume di scarico minimo riportato nella Tabella 2.

Volume di scarico minimo	Potenza termica dell'unità		
	< 5 kW	7,1 kW	10-14 kW
	27 m ³ (3x3x3 m)	54 m ³ (4,25x4,25x3 m)	81 m ³ (5,2x5,2x3 m)

Tabella 2. Volume (e rapporto delle dimensioni) dello spazio minimo di scarico dell'aria.

Questi volumi sono stati pensati considerando sempre la sicurezza, dato che il sistema di purificazione non sarà attivo 24/7.

Conclusioni

Con queste informazioni sulle prestazioni della soluzione di purificazione di Airzone, possiamo affermare che si tratta di un dispositivo sicuro e compatto, capace di migliorare la qualità dell'aria negli ambienti interni in termini di:

- Riduzione del particolato fine presente nell'aria, con un rendimento superiore rispetto ai sistemi di filtrazione ad alta efficienza.
- Benefici contro i problemi respiratori e le allergie causate dagli acari della polvere, il pelo degli animali domestici, il fumo di sigaretta e il polline.
- Eliminazione degli odori grazie alla riduzione di COV nell'aria.
- Inibizione di batteri e virus.

Il tutto senza compromettere le prestazioni funzionali dei ventilatori delle unità interne.

La soluzione di purificazione Airzone non solo migliora la qualità dell'aria interna, ma riduce anche il consumo elettrico grazie alla diminuzione dell'aria esterna rifornita agli spazi condizionati, e permette un controllo remoto delle unità di climatizzazione.

Tutte queste caratteristiche rendono il dispositivo di purificazione Airzone una soluzione davvero interessante per le certificazioni di edilizia sostenibile, come BREEAM o LEED, in cui è possibile raggiungere un punteggio superiore se si sceglie di includere la soluzione Airzone.

Bibliografia

- [1] Klepeis, N. et al. Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. Vol. 11 (2001), pp 231–252.
- [2] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [3] Liang, F. et al. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 75-7 (2020), pp 707–717.
- [4] Hakan, L. et al. Particulate Matter (PM_{2.5}, PM_{10-2.5} and PM₁₀) and Children's Hospital admission for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Vol. 71–8 (2008).
- [5] Hou, D. et al. Associations of long-term exposure to ambient fine particulate matter and nitrogen dioxide with lung function: A cross-sectional study in China. *Environmental International*. Vol. 144 (2020).
- [6] Wang, M. et al. The association between PM_{2.5} exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously air-polluted environment. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 64 (2020), pp 139–144.
- [7] Raaschou-Nielsen, O. et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environmental International*. Vol. 87 (2016), pp 66–73.
- [8] World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 Summary of risk assessment.
- [9] Tanaka A. and Zhang, Y. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *Journal of Agricultural Safety and Health*. Vol. 2-1 (1996), pp 39–47.
- [10] Mayya, Y. S., Sapra, B. K., Khan, A. and Sunny, F. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 35-8 (2004), pp 923–941.
- [11] Sawant, V.S. Removal of particulate matter by using negative electric discharge. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. Vol. 2 (2013), pp 48–51.
- [12] Pushpawela, B., Jayaratne, R., Nguy, A and Morawska, L. Efficiency of ionizers in removing airborne particles in indoor environments. *Journal of Electronics*. Vol. 90 (2017), pp 79–84.
- [13] Lee, B. U., Yermakov, M. and Grinshpun, S. A. Removal of fine and ultrafine particles indoor air environment by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment*. Vol 38 (2004), pp 4815–4823.
- [14] Cutis, N. J., Woodfolk, J. A., Vaughan, J. W. and Platts-Mills, T. A. E. Quantitative measurement of airborne allergens from dust mites, dogs, and cats using an ion-charging device. *Clinical & Experimental Allergy*. Vol. 33 (2003), pp 986–991.
- [15] Goodman, N. and Hughes, J. F. The effect of corona discharge on dust mite and cat allergens. *Journal of Electrostatics*. Vol. 60 (2004), pp 69–91.
- [16] Sawant, V. S., Meena, G. S. and Jadhav, D. B. Effect of negative air ions on fog and smoke. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol 12 (2012), pp 1007–1015.

- [17] Kawamoto, S., Oshita, M., Fukuoka, N., Shigeta, S., Aki, T., Hayashi, T., Nishikawa, K. and Ono, K. Decrease in the Allergenicity of Japanese Cedar Pollen Allergen by Treatment with Positive and Negative Cluster Ions. *International archives of allergy and immunology*. Vol. 141-4 (2006), pp 313–321.
- [18] Wu, C. C. and Lee, G. W. M. Oxidation of Volatile Organic Compounds by Negative Air Ions. *Atmospheric Environment*. Vol. 38 (2004), pp 6287–6295.
- [19] Kim, K., Szulejko, J. E., Kumar, P., Kwon, E.E. and Adelodun, A. A. Air ionization as a control technology for off-gas emissions of volatile. *Environmental Pollution*. Vol. 225 (2017), pp 729–243.
- [20] Phillips, G., Harris, G. J. and Jones, M. W. Effects of air ions on bacterial aerosols. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 8 (1964), pp 27–37.
- [21] Zhou^a, P., Yang^c, Y., Huang, G. and Lai^b, C. K. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Building and Environmental*. Vol. 127 (2018), pp 204–210.
- [22] Tyagi, A. K., Nirala, B. K., Malik, A. and Singh, K. The effect of negative air ion exposure on *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Environmental Science and Health. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Vol. 43 (2008), pp 694–699.
- [23] Noyce, J. O. and Hughes, J. F. Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on *Escherichia coli*. *Journal of Electrostatics*. Vol. 54 (2002), pp 179–187.
- [24] Shargawi, J. M., Theaker, E. D., Drucker, D. B., MacFarlane, T. and Duxbury A. J. Sensitivity of *Candida albicans* to negative air ion streams. *Journal Applied Microbiology*. Vol. 87 (1999), pp 889–897.
- [25] Dobrynin, D., Friedman, G., Fridman, A. and Starikovskiy, A. Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New Journal of Physics*. Vol. 13 (2011).
- [26] Timoshkin, I. V., Maclean, M., Wilson, M. P., Given, M. J., MacGregor, S. J., Wang, T. and Anderson, J. G. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Transactions on Plasma Science*. Vol. 40-10 (2012), pp 2322–2333.
- [27] Bailey, W. Mitchell, P. and Daniel, J. K. Effect of Negative Air Ionization on Airborne Transmission of Newcastle Disease Virus. *Avian Diseases*. Vol. 38 (1994), pp 725–732.
- [28] Hagbom, M., Nordgren, J., Nybom, R., Hedlund, K., Wigzell, H. and Svensson, L. Ionizing air effects influenza virus infectivity and prevents airborne-transmission. *Scientific Reports*. Vol. 5 (2015).
- [29] Productos virucidas autorizados en España. Secretaría de Estado de Sanidad. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (2020).
- [30] UNE 400201:1994. Generadores de ozono. Tratamiento de aire. Seguridad química.
- [31] Directive 2006/25/EC. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).
- [32] Ghatge, N. and Vernekar, S. Evaluation of ultraviolet light absorbers in poly vinyl chloride (PVC). *Macromolecular Materials and Engineering*. Vol. 20-1 (1971), pp 175–180.