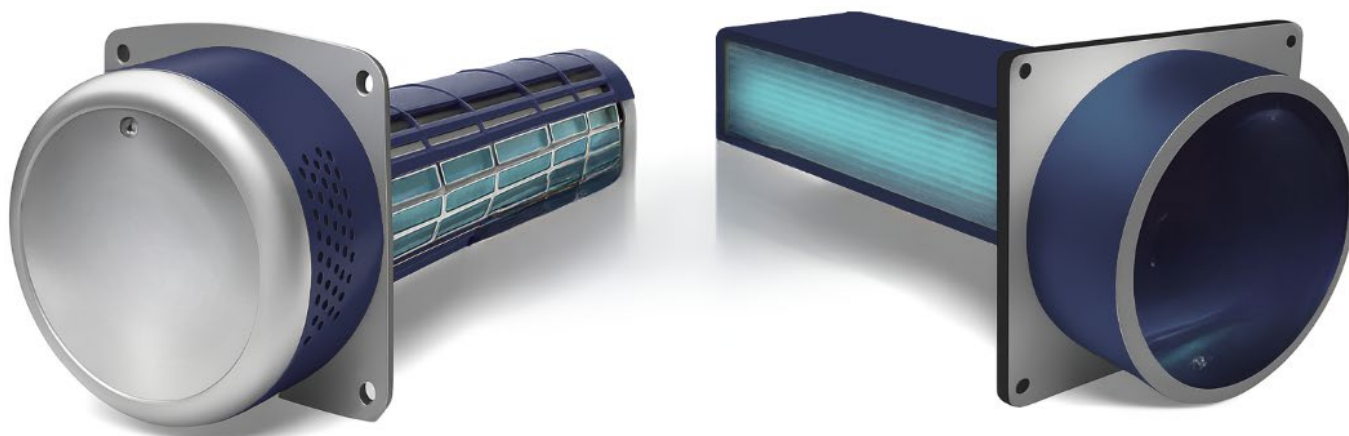


TECNOLOGIA "PCO": SCIENZA, PROMESSE ...E RISCHI NASCOSTI

LA TECNOLOGIA PCO (PHOTOCATALYTIC OXIDATION) HA SUSCITATO MOLTO INTERESSE COME METODO INNOVATIVO PER LA PURIFICAZIONE E LA DISINFEZIONE DELL'ARIA. LE POTENZIALITÀ POTREBBERO ESSERE NOTEVOLI, MA LA REALTÀ SPERIMENTALE E NORMATIVA MOSTRA LIMITI CHE NON POSSONO ESSERE IGNORATI.



LA TECNOLOGIA

Il principio è semplice: **un catalizzatore** (spesso biossido di titanio, TiO_2) **irradiato con luce ultravioletta genera radicali ossidanti** in grado di **degradare composti organici volatili (VOC) e inattivare microrganismi**.

Questo processo genera particelle molto reattive, chiamate radicali, che riescono a scomporre le sostanze presenti nell'aria. In pratica, composti inquinanti e cattivi odori vengono trasformati in molecole innocue come acqua e anidride carbonica. Quando l'aria attraversa il modulo, si attiva un processo fotocatalitico che genera radicali ossidrilici e piccolissime quantità di perossido di idrogeno (H_2O_2). Queste molecole altamente reattive permettono di sanificare non solo il flusso d'aria, ma anche le superfici interne dei condotti, grazie alla loro efficacia nella decomposizione di batteri, virus e altri agenti patogeni.

In aggiunta, spesso i sistemi sono equipaggiati con un sistema di **ionizzazione bipolare** (positiva e negativa), che amplifica la riduzione degli odori e risulterebbe efficace anche contro le polveri ultrafini.

Ma...funziona davvero così?

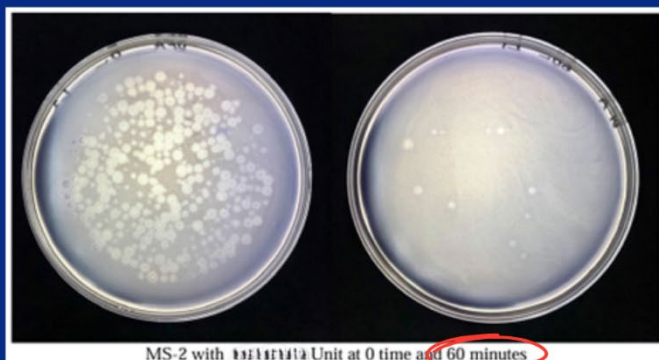
Gli studi indipendenti hanno evidenziato che **la tecnologia PCO può produrre sottoprodotti indesiderati**, come formaldeide e acetaldeide, soprattutto quando viene utilizzata in condizioni realistiche e con alti flussi d'aria.

Le quantità di perossido di idrogeno generate sono in genere molto basse e, per questo motivo, la **reale efficacia** di tali concentrazioni **nel sanificare grandi volumi d'aria in tempi rapidi risulta spesso inferiore a quanto dichiarato dai produttori**.

Anche affermazioni come *“efficace contro virus, batteri, muffe, allergeni, VOC e polveri ultrafini”* devono essere valutate con cautela: **se in laboratorio si registrano riduzioni significative, nei contesti reali i risultati appaiono molto meno consistenti**.

Non a caso organizzazioni come ASHRAE ed EPA invitano alla prudenza, sottolineando che non esistono prove conclusive per considerare queste tecnologie equivalenti, o addirittura superiori, alla filtrazione HEPA o alla disinfezione con UV-C correttamente dimensionata.

EFFICACIA PERCEPITA E INTERPRETAZIONE DEI DATI



Molto spesso, per rendere i risultati più convincenti, vengono presentati dati ottenuti in condizioni che ne aumentano solo l'efficacia apparente, ad esempio con test su superfici. Tuttavia, questi non rappresentano affatto ciò che accade in un grande flusso d'aria all'interno di un impianto HVAC, dove i tempi di contatto sono estremamente brevi.

NEL CAMPO DELLA PURIFICAZIONE DELL'ARIA, È IMPORTANTE ASSICURARSI CHE I TEST FORNISCANO VALORI MISURABILI E SI RIFERISANO CHIARAMENTE AL SINGOLO PASSAGGIO DELL'ARIA

EFFICACIA TEORICA E RISCHI POTENZIALI:

- * **Produzione di ozono:** sebbene molti produttori dichiarino che i sistemi PCO siano privi di emissioni, **diversi test hanno evidenziato la possibilità che vengano generate piccole quantità di ozono**. Anche a basse concentrazioni, l'ozono è riconosciuto come sostanza nociva per la salute umana, in grado di irritare le vie respiratorie e peggiorare patologie preesistenti.
- * **Formaldeide e sottoprodotti secondari:** la degradazione dei VOC tramite PCO **può portare alla formazione di sottoprodotti intermedi** come la **formaldeide**, sostanza classificata come cancerogena. In questo modo si rischia di sostituire un inquinante con un altro altrettanto o più pericoloso.

- ✱ **Efficacia contestata:** diversi studi e analisi di ambienti reali hanno sollevato **dubbi sull'efficacia dei sistemi PCO rispetto ai risultati in condizioni di laboratorio controllate**. Le affermazioni commerciali spesso troppo ottimistiche hanno portato a contestazioni legali e a posizioni critiche da parte di enti regolatori.
- ✱ **Assenza di validazioni indipendenti:** molte valutazioni sulle prestazioni dei sistemi PCO si basano su **test interni o non standardizzati condotti dai produttori stessi**. Questa mancanza di verifiche indipendenti ha alimentato ulteriori perplessità circa la reale sicurezza ed efficacia della tecnologia.

By-Product	Come si forma	Perché è pericoloso
 Formaldehide	Ossidazione incompleta dei VOC (ad es. provenienti da materiali da costruzione e prodotti per la pulizia)	Classificato come cancerogeno per l'uomo; irrita occhi, naso e gola provoca asma
 Acetaldehyde	Degradazione parziale di alcoli e idrocarburi durante la fotocatalisi	Probabile cancerogeno per l'uomo; provoca irritazione respiratoria, mal di testa e nausea
 Acetone	Prodotti secondari derivanti dall'ossidazione di solventi e idrocarburi.	Irritante per occhi e vie respiratorie; l'esposizione prolungata può influire sul sistema nervoso centrale
 Ozone	Generato involontariamente da lampade UV o da reazioni al plasma nei dispositivi PCO	Forte irritante polmonare; peggiora l'asma, riduce la funzionalità polmonare e aumenta la reattività delle vie aeree
 Ultrafine Particles	Formati dalla condensazione di intermedi di reazione e da processi catalitici	Penetrano in profondità nei polmoni, entrano nel flusso sanguigno e sono associate a effetti cardiovascolari e neurologici
 Hydrogen Peroxide	Prodotto in piccole quantità durante le reazioni delle specie reattive dell'ossigeno (ricombinazione •OH)	Ad alte concentrazioni: irritante per occhi, pelle e vie respiratorie; causa stress ossidativo

La posizione di ASHRAE:

Photocatalytic Oxidation (PCO) and Gaseous Hydrogen Peroxide

- Consists of a pure or doped metal oxide semiconductor material
 - Most Common Photocatalyst is TiO₂ (titanium dioxide)
- Activated by a UV light source
 - UV-A (400-315nm)
 - UV-C (280-200nm)
 - UV-V (under 200nm) **Ozone can be formed at UV-V wavelengths**
- Light mediated, redox reaction of gases and biological particles absorbed on the surface
- Some units claim disinfection from gaseous hydrogen peroxide
- Possible by-products formed by incomplete oxidation, including from gaseous contaminants**

ASHRAE

Photocatalytic Oxidation (PCO)

- Some air cleaners using PCO remove harmful contaminants to levels below limits for reducing health risks set by recognized cognizant authorities.
- Some are ineffective in reducing concentrations significantly; manufacturer data should be considered carefully.**

For more information, see the [ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning](#).

ASHRAE

Bipolar Ionization/Corona Discharge/Needlepoint Ionization and Other Ion or Reactive Oxygen Air Cleaners

- Air cleaners using reactive ions and/or reactive oxygen species (ROS) have become prevalent during the COVID-19 pandemic. New devices that are not mentioned elsewhere in this guidance likely fall into this category.
- High voltage electrodes create reactive ions in air that react with airborne contaminants, including viruses. The design of the systems can be modified to create mixtures of reactive oxygen species (ROS), ozone, hydroxyl radicals and superoxide anions.
- Systems are reported to range from ineffective to very effective in reducing airborne particles and acute health symptoms.**
- Convincing scientifically-rigorous, peer-reviewed studies do not currently exist on these emerging technologies; manufacturer data should be carefully considered.**
- Systems may emit ozone, some at high levels. Manufacturers are likely to have ozone generation test data.**

For more information, see the [ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning](#) and [CDC Response to ASHRAE ETF on Bipolar Ionization](#).

ASHRAE

CDC Position on Emerging Technologies for Air Cleaning

CDC does not provide recommendations for, or against, any manufacturer or product. There are numerous technologies being heavily marketed to provide air cleaning during the ongoing COVID-19 pandemic. **Caution among these are ionization technologies, including bipolar ionization, and chemical fogging/disinfection.** Some products on the market include combinations of these technologies. These products generate ions, reactive oxidative species (ROS), which are marketed using many names: **de** chemicals into the air as part of the air cleaning process. People in spaces treated by these products are also exposed to these ions, ROS, or chemicals.

While variations of these technologies have been around for decades, relative to other air cleaning or disinfection methods, they have a less-documented track record when it comes to cleaning/disinfecting large and fast volumes of moving air within heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems or even inside individual rooms. The data does not necessarily imply the technologies do not work as advertised. However, in the absence of an established body of peer-reviewed evidence showing proven efficacy and safety under defined conditions, the technologies are still considered by many to be "emerging."

As with all emerging technologies, consumers are encouraged to exercise caution and to do their homework. **Registration alone, with national or local authorities, does not always imply product efficacy or safety.** Consumers should request testing data that quantifies demonstrates a clear protective benefit and occupant safety under conditions consistent with the intended use. When considering air cleaning technologies that potentially or intentionally expose building occupants, the safety data should be applicable to all occupants, including those with health conditions that could be aggravated by the air treatment. In transient spaces, where average exposures to the public may be temporary, it is important to also consider occupational exposures for workers that must spend prolonged periods in the space.

Previously, the documented performance data under **as-used** conditions should be available from multiple sources, some of which should be independent, third-party sources. Unsubstantiated claims of performance or limited case studies with only one device in one room and no reference controls should be questioned. At a minimum, when considering the acquisition and use of products with technology that may generate ozone, verify that the equipment meets UL 867 standard certification (Standard for Electrostatic Air Cleaners) for production of acceptable levels of ozone, or preferably UL 2098 standard certification (Environmental Claim Validation Procedure (ECVP) for Zero Ozone Emissions from Air Cleaners) which is intended to validate that no ozone is produced.

Source: FAQ on "new air disinfection devices" at [Ventilation in Buildings LGPOV](#).

ASHRAE

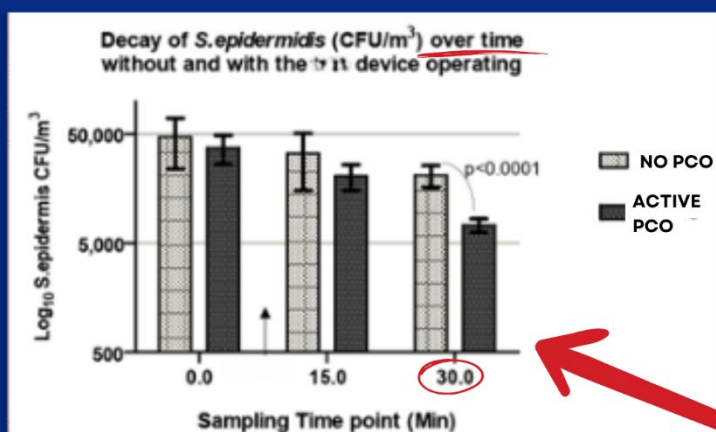
Dichiarazioni commerciali irrealistiche

Un aspetto particolarmente critico è la diffusione di claim di marketing che parlano di **disinfezione dell'aria fino a 4000 m³/h**.

Queste affermazioni non trovano riscontro nelle leggi fisiche né negli studi indipendenti:

- **Potenza insufficiente:** le potenze UV impiegate sono così basse che, anche se perfettamente convertiti in “radiazione attiva”, non possono garantire l’inattivazione microbica completa su portate così elevate.
- **Tempo di esposizione:** a 4000 m³/h il tempo di contatto fra aria, luce e catalizzatore è brevissimo (frazioni di secondo), insufficiente per una reazione efficace.
- **Rischio di false aspettative:** tali dichiarazioni inducono gli utenti a **credere in una “sanificazione totale” che in realtà non avviene**, con il pericolo di ridurre altre **misure comprovate (ventilazione, filtrazione, UV-C a dosi adeguate)**.

COME INTERPRETARE IL SIGNIFICATO DEI TEST.



Anche quando i test mostrano **risultati apparentemente significativi**, un'analisi critica rivela con chiarezza alcuni aspetti fondamentali, come:

- 1 il set up descritti sono spesso molto distanti dal riprodurre gli ambienti reali
- 2 Dalle prove in laboratorio agli spazi reali l'efficienza crolla, i sottoprodotti restano.

È OPPORTUNO CONSIDERARE CHE UNA RIDUZIONE DEL 65% DI UN BATTERIO, OTTENUTA RICIRCOLANDO PER 30 MINUTI UN PICCOLO VOLUME D'ARIA IN LABORATORIO, NON PUÒ ESSERE AUTOMATICAMENTE EQUIPARATA ALLA CAPACITÀ DI PURIFICARE 4.000 M³/H AL PRIMO PASSAGGIO IN UN IMPIANTO REALE.

La letteratura indipendente sui rischi della PCO converge su alcuni punti chiave: in condizioni vicine a quelle reali (miscele di VOC indoor, umidità e tempi di contatto brevi) i reattori UV-PCO possono generare **sottoprodotti tossici**: studi di laboratorio condotti su prototipi e su unità commerciali in camere ambientali (es. lavori del Lawrence Berkeley National Laboratory) hanno documentato **formazione netta** di questi composti quando la reazione ossidativa è incompleta; risultati analoghi compaiono in articoli su *Building & Environment* che, oltre a prove sperimentali, includono modellazioni su decine di test indicando **come portata d'aria, umidità, carico di inquinanti e design del reattore siano determinanti per la chimica secondaria**.

Un filone più “chimico” (es. *Catalysis Today* su toluene e altri VOC) ha sottolineato l’esigenza di **valutazioni tossicologiche** specifiche e di misure in continuo dei sottoprodotti.

A livello di indirizzi tecnico-regolatori, documenti di **EPA** e **CARB** avvertono che i dispositivi possono produrre **ozono** o altri inquinanti secondari e raccomandano verifiche indipendenti di prestazione e sicurezza; le **position statements** di **ASHRAE** richiamano la necessità di prove in **edifici reali**, con misure di sottoprodotti e limiti alle emissioni.

81 | www.epa.gov/fan

RESIDENTIAL AIR CLEANERS

Table 1 (continued). Summary of Air-Cleaning Technologies

Air-cleaning technology	Targeted indoor air pollutant(s)	Mechanism(s) of action	Advantages	Disadvantages	Test standards (and rating metrics)
Chemisorbent media	Gases	Collection: Gases chemically adsorb onto media coated or impregnated with reactive compounds	- Potential for high removal efficiency for many gaseous pollutants - Chemisorption is an irreversible process, meaning pollutants are permanently captured	- Regular replacement is required because its chemisorption capacity is exhausted - Effectiveness of many consumer-grade systems is unknown - High pressure drops on some sorbent media filters can negatively impact HVAC systems - Different removal efficiency for different gases at different concentrations	Media: - ANSI/ASHRAE Standard 145.1 (no rating metric) - In-duct air cleaners: - ANSI/ASHRAE Standard 145.2 (no rating metric) No effectiveness standards
Catalytic oxidation	Gases	Conversion: Most utilize photocatalytic oxidation (PCO) in which a high-surface-area medium is coated with a catalyst; incoming gases adsorb onto the media and UV lamps irradiate and activate the titanium dioxide, which reacts with the adsorbed gases to chemically transform them	- Can degrade a wide array of gaseous pollutants (e.g., aldehydes, aromatics, alkanes, olefins, halogenated hydrocarbons) - Can be combined with adsorbent media to improve effectiveness	- Can generate harmful byproduct such as formaldehyde, and acetaldehyde, and ozone - No standard test methods - Often relatively low removal efficiency for many indoor gases, but high variability in removal for different gases - Lack of field studies to validate performance - Catalyst often has a finite lifespan	None specific to PCO
Plasma	Gases	Conversion: Electric current is applied to create an electric arc; incoming gases are ionized and bonds are broken to chemically transform the gaseous pollutants	- Can have high removal efficiency - Can be combined with other air-cleaning technologies (e.g., PCO) to improve performance and minimize byproduct formation	- yields confusion on how a product actually works - Byproducts are formed from many plasma technologies, including particles, ozone, formaldehyde, carbon monoxide, chloroform, nitrogen oxides, and a large number of other organic gases - Most studies have investigated gaseous removal while fewer have evaluated particle removal	None specific to plasma
Intentional ozone generation	Gases	Conversion: Intentional generation of ozone using corona discharge, UV, or other method to oxidize odorous compounds and other gases	- Reacts with many indoor gases - Can be combined with other less-harmful technologies such as adsorbent media	- High ozone generation rates - High amounts of byproduct formation - Can cause degradation to indoor materials	None specific to ozone generators

Note that “Gases” are inorganic gases (e.g., carbon monoxide, nitrogen dioxide, ozone) and organic gases (e.g., volatile organic compounds, aldehydes).

Purificatori d'aria residenziali - Sintesi tecnica – EPA Environmental Protection Agency

In sintesi, sebbene la PCO mostri in laboratorio la capacità di degradare VOC e inattivare microrganismi, il **gap di traduzione** al campo—complice la **deattivazione del catalizzatore**, lo “sporcamento” delle superfici e i **tempi di residenza ridotti** alle portate tipiche HVAC—fa sì che i benefici dichiarati siano spesso accompagnati da **rischi di by-products** e da prestazioni meno nette, motivo per cui la bibliografia più rigorosa chiede protocolli di test standardizzati, report completi su sottoprodotti e **confronto trasparente con alternative consolidate come filtrazione ad alta efficienza, UV-C dimensionato correttamente, ventilazione**.

Referenze:

- [Performance of photocatalytic oxidizing air cleaners in different experimental setups – a review - ScienceDirect](#)
- [Ultraviolet photocatalytic oxidation technology for indoor volatile organic compound removal: A critical review with particular focus on byproduct formation and modeling - ScienceDirect](#)
- [Key parameters influencing the performance of photocatalytic oxidation \(PCO\) air purification under realistic indoor conditions - ScienceDirect](#)
- [Determination and risk assessment of by-products resulting from photocatalytic oxidation of toluene - ScienceDirect](#)
- [Photocatalytic oxidation technology for indoor air pollutants elimination: A review - ScienceDirect](#)
- [Modeling of by-products from photocatalytic oxidation \(PCO\) indoor air purifiers: A case study of ethanol - ScienceDirect](#)
- [Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air applications: Systematic experimental evaluation - ScienceDirect](#)
- [Evaluation of a Combined Ultraviolet Photocatalytic Oxidation \(UVPCO\) / Chemisorbent Air Cleaner for Indoor Air Applications *ibnl-62202.pdf*](#)