

Cristiano Vergani  
Responsabile R & S  
Deparia Engineering S.r.l  
Email: [cristiano.vergani@deparia.com](mailto:cristiano.vergani@deparia.com)

## **Moderna diffusione e filtrazione dell'aria**

### **Cap. 5 Nuove tecnologie per la filtrazione dell'aria**

I filtri per aria devono soddisfare requisiti sempre più elevati, in proporzione all'aumento delle aspettative degli utenti in termini di qualità dell'aria: le tecnologie tradizionali, ormai mature, offrono ridotti margini di miglioramento, a fronte delle necessità di evoluzione richieste dalle recenti normative che riguardano la ventilazione generale. Il momento è quindi favorevole all'introduzione di nuove tecnologie, grazie anche alla disponibilità di nuovi materiali e alla messa a punto di metodi originali per diminuire le concentrazioni di inquinanti in ambiente, al di là del concetto consueto di filtrazione. Come vedremo, l'ambiente stesso può diventare un attore dei processi di disinquinamento dell'aria, al di là del ruolo dei filtri (che comunque, in veste tecnicamente rinnovata, sono destinati a mantenere una importanza fondamentale per il mantenimento del comfort e la tutela della salute degli occupanti). L'aspetto più significativo della innovazione nel campo del disinquinamento dell'aria, negli ambienti residenziali e del terziario, è rappresentato dall'introduzione delle tecniche di ossidazione catalitica degli inquinanti, derivanti da quelle utilizzate da tempo nel trattamento delle emissioni industriali. Anche la precipitazione elettrostatica e la ionizzazione dell'aria, in veste rinnovata e corretta, trovano larga applicazione nei più moderni dispositivi di filtrazione.

#### **5.1 Le caratteristiche ideali di un filtro di nuova generazione**

I requisiti di un filtro si possono grossolanamente dividere tra quelli che

presentano risvolti tecnici e quelli che presentano risvolti economici; la maggiore importanza degli uni o degli altri dipende fortemente dal tipo di applicazione e dalle impostazioni di progetto, nonché dal livello di qualità dell'aria stabilito di comune accordo tra committente e progettista, fatto salvo il minimo stabilito dalle leggi e dalle norme correnti. Il primo dato che si va a ricercare nella scheda tecnica di un filtro per aria è normalmente il valore di efficienza, che rappresenta il rapporto tra la quantità di inquinante presente a monte e quella residua a valle del filtro in un apparato di prova, cioè in condizioni controllate ed utilizzando polveri, aerosol o sostanze gassose generate artificialmente. L'efficienza di prova è senz'altro un parametro importante, ma di per sé del tutto insufficiente a definire le reali prestazioni di un filtro installato. Se proviamo ad immaginare le caratteristiche che dovrebbe possedere un filtro ideale, oltre all'efficienza (oltretutto da definire in rapporto alla tipologia di inquinante), troviamo il valore di resistenza opposto al transito dell'aria, ovvero la perdita di carico, che si riflette innanzi tutto sul dimensionamento del ventilatore di movimentazione e quindi sui consumi energetici e sulla rumorosità. Per conservare a lungo delle perdite di carico ridotte, i filtri dovrebbero "trattenere" le particelle filtrate il più possibile al di fuori del percorso dell'aria, in modo che i depositi non debbano essere attraversati. Questo è esattamente quanto avviene nei filtri elettrostatici (precipitatori), i quali "asportano" le particelle in sospensione dal flusso d'aria e le fanno precipitare su dei collettori a piastre, che sono disposti lungo la direzione di attraversamento: in questo modo, distanziando opportunamente le piastre, anche dei depositi di grande entità hanno scarso effetto nell'ostacolare il transito dell'aria. Grazie a questa proprietà, i filtri elettrostatici offrono delle perdite di carico molto basse, pressoché costanti durante la normale vita operativa, che termina quando lo spessore del deposito comincia a perturbare il campo elettrico, invece che impedire il passaggio dell'aria, come avviene nei filtri "meccanici".

Perché allora non si utilizzano prevalentemente dei filtri elettrostatici, nelle unità di trattamento dell'aria? In effetti, i tradizionali filtri elettrostatici, accanto a caratteristiche molto gradite, come l'elevata efficienza anche su particelle molto piccole in abbinamento a perdite di carico molto basse, presentano anche delle caratteristiche che, di fatto, ne relegano l'applicazione in situazioni di nicchia. Infatti, i normali filtri elettrostatici sono degli apparati

complessi e costosi, sia come importo di installazione, sia dal punto di vista della manutenzione periodica. Essi infatti, sono in genere costituiti da un complesso di lamine metalliche stampate che devono essere assemblate con molta precisione (quindi hanno un elevato costo di produzione) e necessitano di un alimentatore ad alta tensione per funzionare (circa 6 – 12 kV, per questa tipologia di filtri), anche se assorbono correnti molto modeste (circa 500  $\mu$ A per 1000  $m^3/h$  di portata). Inoltre, alla fine della vita operativa, mentre i filtri "meccanici" vengono semplicemente sostituiti, i filtri elettrostatici possono essere ripristinati attraverso un lavaggio anche se ciò comporta un allungamento dei tempi di ammortamento che permetterebbe di recuperare ampiamente i maggiori costi iniziali, in realtà ciò si tramuta in onerose operazioni di manutenzione periodica (fermi impianto, necessita di personale specializzato e di apposite apparecchiature per il lavaggio, disponibilità di filtri puliti "di giro" ecc.). Questi aspetti non rappresentano un problema nelle applicazioni speciali, ma costituiscono invece un limite per le applicazioni nella ventilazione generale.

Quali dovrebbero essere, allora, le caratteristiche di un filtro ideale per rispondere ai requisiti di massima efficienza e di minimo costo globale (LCC – Life Cycle Cost) per un impiego di larga scala nei moderni impianti di condizionamento ?

- Alta efficienza iniziale, nella parte superiore della classe F secondo UNI EN 779 (F7 – F9);
- basse perdite di carico iniziali, il più possibile inferiori a quelle caratteristiche dei filtri attualmente in uso, quindi  $\leq$  100 Pa, possibilmente intorno ai 50 Pa;
- massima linearità di prestazioni (efficienza, perdite di carico) durante la vita operativa;
- massima estensione della vita operativa (elevata capacità di carico in termini di peso di inquinanti trattenuti);
- costruzione economica con materiali di comune impiego, di basso costo energetico e di semplice assemblaggio;
- tipologia usa – e – getta, in modo da evitare complicazioni e costi relativi alla manutenzione;
- inceneribilità, quindi realizzazione con materiali compatibili per combustibilità ed assenza di emissioni nocive, in modo da recuperare

nella combustione gran parte dell'energia impiegata per costruirli.

Queste le caratteristiche di base, alle quali sarebbe ideale aggiungere altri plus estremamente desiderabili

- ampio spettro d'azione, cioè la possibilità di filtrare non solo particelle in un ampio intervallo di diametri, ma anche gli inquinanti in fase gassosa o di vapore. Questa caratteristica sarebbe di grande importanza nei riguardi dell'applicazione di norme più severe sulla qualità dell'aria interna;
- una efficace azione antibatterica ed antifungina, in modo da evitare la proliferazione di colonie di batteri e muffe in determinate condizioni favorevoli di temperatura ed umidità, spesso riscontrabili nei normali impianti di trattamento dell'aria.

Com'è ovvio, un filtro che presenta tutte queste caratteristiche ad un livello ottimale non esiste; tuttavia, sfruttando al meglio le tecnologie attualmente disponibili, è possibile costruire un dispositivo che possa offrire delle prestazioni buone o accettabili in ognuno di questi campi, con alcune possibili punte di eccellenza.

### **5.2 Filtrazione catalitica dell'aria a temperatura ambiente**

I filtri catalitici, destinati all'abbattimento delle sostanze organiche volatili, sono ampiamente utilizzati in ambito industriale come filtri di processo o per trattare le emissioni in atmosfera. Al loro interno avvengono delle reazioni chimiche di ossidazione, promosse da un catalizzatore (tipicamente di natura metallica) depositato su un supporto di grande superficie esposto all'aria in transito. In teoria, queste reazioni di sono in grado di trasformare qualsiasi sostanza organica in un residuo finale di anidride carbonica ed acqua, per fare sì che ciò possa avvenire nel modo più efficiente possibile, è necessario fornire una certa quantità di energia, sotto forma di calore, generato da elettricità o da combustibili fossili. Si tratta perciò di un sistema poco praticabile in applicazioni non industriali. Per fortuna, esistono altre possibilità di fornire energia alle reazioni di ossidazione catalitica, senza dovere ricorrere al calore. Una di queste è costituita dalla fotocatalisi. Si tratta di un metodo di degradazione delle sostanze organiche originariamente studiato per la decontaminazione dei siti industriali dismessi e per l'eliminazione di alcuni

agenti chimici per uso militare. Data la particolarità di offrire una ossidazione catalitica a temperatura ambiente, si presta ad essere utilizzato in ambito civile per evidenti motivi di praticità. All'interno di un filtro fotocatalitico, l'aria da depurare viene fatta scorrere sulla superficie di elementi di supporto, ricoperti da uno strato molto sottile di un catalizzatore, in grado di promuovere reazioni chimiche di ossidazione. In questo caso, l'energia è apportata da fotoni di luce ultravioletta, a temperatura ambiente: le sostanze organiche vengono quindi idealmente ossidate ad anidride carbonica ed acqua. L'acqua che si viene a formare, subisce a sua volta un processo di scissione in radicali liberi, una specie chimica estremamente reattiva che aiuta a completare la degradazione delle sostanze organiche residue. Un vantaggio particolare della fotocatalisi è rappresentato dall'effetto biocida delle radiazioni ultraviolette e dei radicali liberi, che porta alla completa sterilizzazione dell'aria trattata: in questo modo, si possono eliminare dall'atmosfera degli ambienti confinati anche tutti i contaminanti aerodispersi di origine biologica, come batteri, virus e muffe. Anche le spore più resistenti, come quelle dell'agente del carbonchio (*Bacillus Anthracis*) possono essere eliminate dai filtri fotocatalitici, a condizione di prevedere un sufficiente tempo di esposizione. Anche questa tipologia di filtri presenta comunque degli aspetti critici: il primo è rappresentato dalla limitata vita operativa delle lampade ultraviolette, che devono quindi essere sostituite periodicamente. Inoltre, i filtri fotocatalitici necessitano di una prefiltrazione molto efficace, in modo da eliminare gli inquinanti in forma solida (particolato), che potrebbero sporcare le lampade riducendone l'irraggiamento, nonché ricoprire le superfici catalizzate impedendone il contatto con le sostanze chimiche da ossidare. Si tratta perciò di filtri relativamente complicati e costosi. Sono già disponibili in commercio unità compatte fotocatalitiche, adatte per essere installate in serie ai condotti dell'aria condizionata o in corrispondenza delle unità di trattamento.

Il filtro fotocatalitico non è il solo candidato a rappresentare i filtri catalitici di nuova generazione: la tecnologia della catalisi è alla base di altre soluzioni in via di sviluppo, nelle quali, l'energia necessaria a promuovere le reazioni di ossidazione proviene dall'applicazione di campi elettrici. Nel filtro elettrocatalitico, si utilizza un filtro elettrostatico con la doppia funzione di abbattere il particolato e di indurre sulla superficie catalitica una differenza di

potenziale utile a promuovere le reazioni desiderate. L'intenso campo elettrico che si viene a formare, è caratterizzato anche dalla presenza di fotoni ultravioletti e di radicali liberi, riproponendo il meccanismo d'azione del filtro fotocatalitico: in più, la massiccia presenza di elettroni accelerati provoca la ionizzazione delle molecole gassose, altro fenomeno che favorisce la degradazione degli inquinanti attraverso la formazione di intermedi fortemente reattivi. Questa tecnologia, che si sta dimostrando molto efficace anche per il trattamento dei gas di scarico nelle automobili, promette molto bene anche nel campo della filtrazione dell'aria degli ambienti confinati, grazie al fatto di rendere disponibile, in un solo dispositivo, due meccanismi di abbattimento molto efficaci su particelle solide e sostanze gassose.

Una tecnologia ancora più recente, priva per ora di realizzazioni commerciali in ambito civile, è costituita dalla EPOC (Electrochemical Promotion Of Catalysis). La EPOC si basa sul controllo e l'incremento del potere catalitico di alcuni ossidi metallici depositati su un substrato elettrolitico, attraverso l'applicazione diretta di una corrente elettrica a basso potenziale. Si tratta di un metodo molto promettente sotto vari punti di vista, anche se ancora lontano dall'essere impiegato in prodotti di serie.

### ***5.3 Filtri elettrostatici di nuova generazione***

Da una analisi delle caratteristiche di un filtro innovativo ideale, si può verificare come questo dovrebbe possedere alcune delle proprietà dei filtri elettrostatici (elevate efficienze di abbattimento particellare, abbinate a basse perdite di carico), e dei filtri a medium filtrante (costruzione più semplice ed economica, manutenzione semplificata, inceneribilità). Per di più, dovrebbe mutuare altre proprietà da filtri di tipo chimico (abbattimento degli inquinanti gassosi, azione antibatterica). Grazie all'impiego di particolari tecnologie innovative, è stato possibile realizzare un filtro per aria che riassume in sé tutte queste caratteristiche. Questo filtro, denominato "elettroattivo" per rimarcarne la differenziazione rispetto ai filtri attualmente disponibili, è stato sviluppato sulla base di un brevetto che riguarda l'utilizzo di materiali a basso costo, già in uso nell'industria della filtrazione, con modalità originali in grado di sfruttare delle potenzialità finora inesprese.

In sintesi, il filtro utilizza una matrice in materiale fibroso elettroconduttivo, in una configurazione che, allo stesso tempo, assolve ad una funzione strutturale, elettrica (precipitatore elettrostatico), adsorbente (trattiene fisicamente le molecole degli inquinanti) e catalitica (in grado di promuovere l'ossidazione chimica delle molecole degli inquinanti). In altre parole, un precipitatore elettrostatico attivo sul particolato e sugli inquinanti gassosi e che alla fine della sua vita operativa può essere avviato all'incenerimento.

Nel filtro elettroattivo, la matrice fibrosa è usata come elettrodo, similmente a quanto avviene in un normale filtro elettrostatico in un primo stadio, ai filamenti viene applicato un potenziale elettrico molto elevato, che provoca la ionizzazione dell'aria che scorre nelle vicinanze. Durante questo percorso, l'aria non attraversa la massa fibrosa, ma semplicemente la lambisce, incontrando quindi una resistenza molto bassa allo scorrimento del flusso. L'aria ionizzata, a sua volta, carica elettrostaticamente le particelle in sospensione; in uno stadio successivo, i filamenti sono invece collegati elettricamente al potenziale di terra, attraendo così le particelle caricate e facendole precipitare. In applicazioni particolarmente esigenti in termini di efficienza, oppure in presenza di elevate velocità dell'aria in transito, è possibile inserire un ulteriore stadio intermedio di deflessione elettrostatica, al fine di accorciare la parabola di precipitazione delle particelle.

#### **5.4 Dispositivi avanzati di ionizzazione dell'aria**

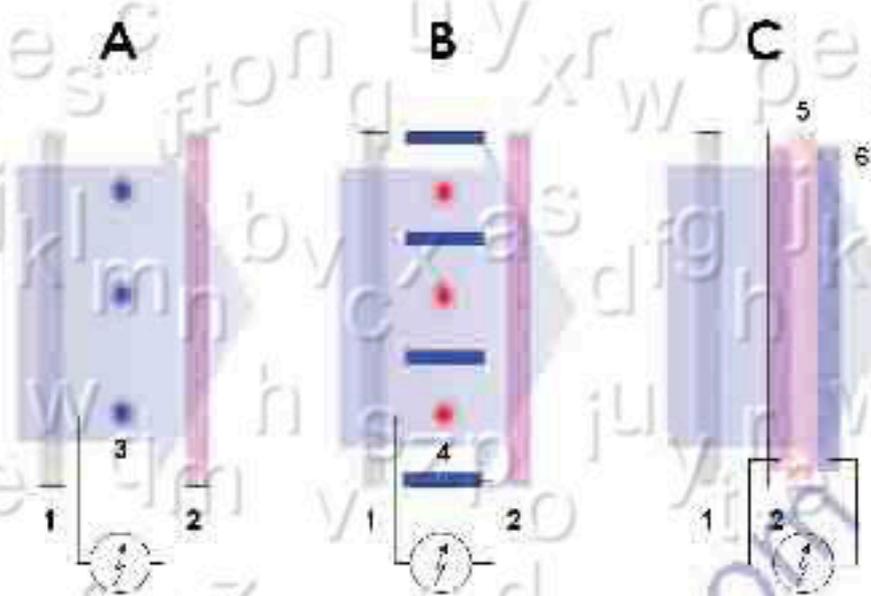
Nel recente passato, numerosi costruttori hanno proposto vari apparecchi per la ionizzazione dell'aria in ambiente, vantando una efficacia di azione quasi miracolistica sull'abbattimento degli inquinanti indoor. Anche se in teoria questi sistemi possono assicurare un certo miglioramento delle condizioni ambientali, nella pratica esistono forti limiti alla loro efficacia, legati soprattutto ad una metodologia d'uso impropria: controllare l'equilibrio ionico di un ambiente è un problema assai complesso, al di fuori della portata di un semplice emettitore di ioni. In genere, si ottiene solo la precipitazione del particolato nei dintorni dell'apparecchio, con la formazione di un film

carbonioso, assai difficile da ripulire, mentre la quasi totalità degli ioni si neutralizza entro poche decine di centimetri dall'emettitore, a causa del preponderante numero di particelle in sospensione incontrate lungo il loro breve tragitto. In realtà, l'effetto di precipitazione della ionizzazione è utile ed efficace se possiamo controllare il destino delle particelle ionizzate, in modo da farle aderire ad un collettore lavabile od asportabile dall'ambiente (è quello che avviene da sempre nei filtri elettrostatici). Il valore della ionizzazione ambientale risiede invece nella possibilità di ricreare nell'ambiente interno lo stesso equilibrio ionico che esiste negli ambienti esterni incontaminati (circa 3000 ioni per  $\text{cm}^3$  d'aria, con una leggera preponderanza degli ioni negativi sui positivi), un risultato che può essere ottenuto solo a particolari condizioni: l'aria dell'ambiente deve essere stata preventivamente filtrata e la distribuzione degli ioni deve essere assicurata da un sistema di ventilazione, tenendo conto dell'apporto delle fonti interne di ionizzazione, che devono essere compensate. Il progredire della tecnologia, insieme all'esperienza accumulata da alcuni costruttori nel campo del controllo delle cariche elettriche ambientali in campo industriale (industrie elettroniche, alimentari, farmaceutiche), ha reso disponibili nuovi sistemi di ionizzazione dell'aria molto efficaci e meno critici da utilizzare. Si è capito innanzi tutto che è meglio non utilizzare in ambiente ionizzatori unipolari (il cui utilizzo è ora preponderante nei "cicli chiusi" come all'interno delle condotte) e che l'azione elettiva da seguire è quella contro gli inquinanti di origine biologica, lasciando in secondo piano l'abbattimento del particolato. Gli apparecchi ionizzatori più avanzati funzionano emettendo grandi quantità di ioni equamente suddivisi tra negativi e positivi. In questo modo si ottiene facilmente il riequilibrio dello stato di ionizzazione dell'ambiente, poiché eventuali fonti interne dell'una o dell'altra polarità sono rapidamente neutralizzate per eccesso. Inoltre, la ionizzazione viene attivata solo in aria pulita, a valle di filtri molto efficaci sul particolato, evitando così la precipitazione di depositi sulle superfici nelle vicinanze. Un deciso passo avanti nell'azione contro gli inquinanti biologici è stato portato dalla ionizzazione in fase umida, che consiste nello scorrimento di un flusso d'aria, in condizioni di saturazione d'acqua, all'interno di una camera di scarica ad effluvio (corrente di elettroni a pressione atmosferica o "plasma freddo"). Questo procedimento porta alla formazione di voluminosi aggregati ionici, o *clusters*, formati da ioni idronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) oppure ossidrilici ( $\text{OH}^-$ ) e

molecole d'acqua, che sono estremamente reattivi nei confronti di batteri, spore di muffa e virus.

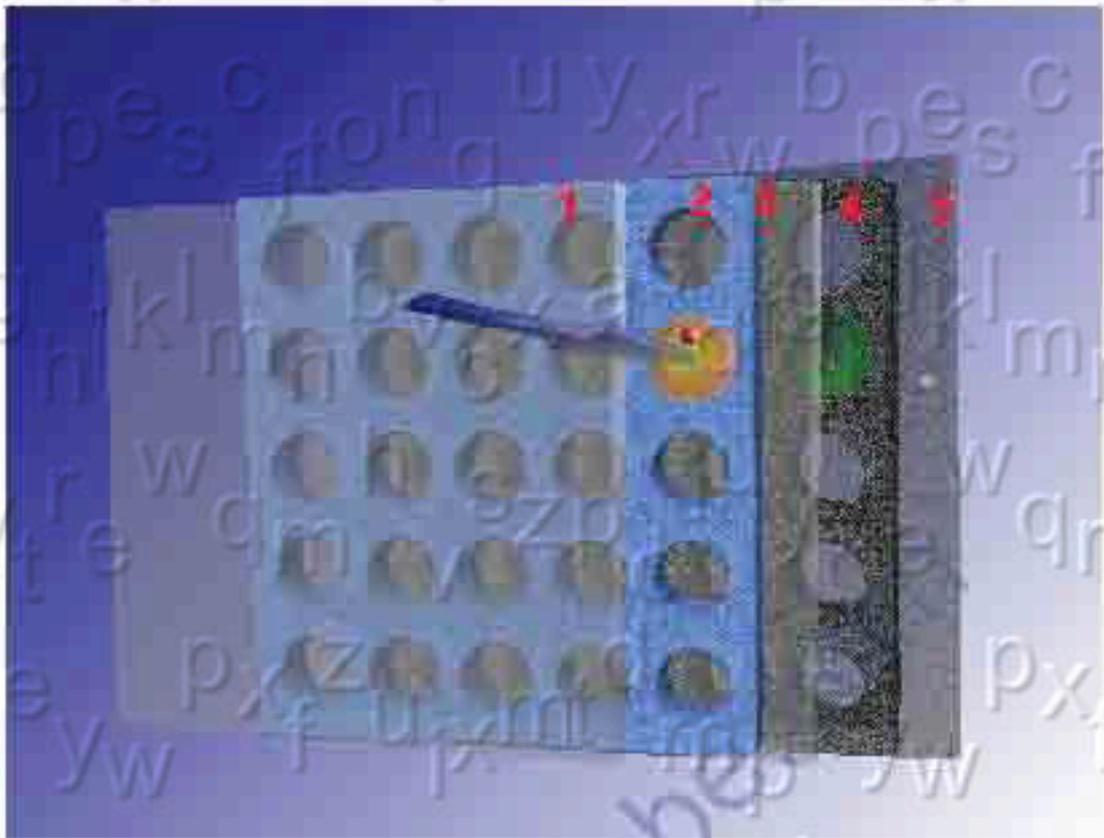
I generatori di ioni negativi (anioni) sono invece utilizzati per mantenere delle concentrazioni ioniche elevate all'interno delle condotte di distribuzione dell'aria condizionata, a valle delle unità di trattamento dotate di filtri ad alta efficienza. Tale metodo permette di mantenere nelle canalizzazioni uno stato di sterilità molto efficace e di evitare il trascinarsi di particelle residue rilasciate dai filtri o dovute a fenomeni di infiltrazione o by-pass. L'eccesso di ioni viene poi bloccato da appositi neutralizzatori installati a monte dei diffusori d'aria in ambiente. Gli ionizzatori da canale sono spesso installati a valle di filtri elettrostatici, in quanto il complesso filtri / ionizzatori possiede un'azione complementare e può essere energizzato da un solo alimentatore comune. Una variante particolarmente innovativa, comprende anche un rivestimento catalitico dell'interno delle condotte che, in presenza del campo elettrico indotto dalla ionizzazione, consente una efficace degradazione ossidativa delle sostanze organiche volatili. Questo abbinamento permette di ottenere rese estremamente elevate su un ampio spettro di inquinanti, permettendo di evitare l'installazione di filtri molto più penalizzanti in termini di perdite di carico e costi generali d'impianto.

[www.ariafresca.com](http://www.ariafresca.com)



**Figura 5.1**

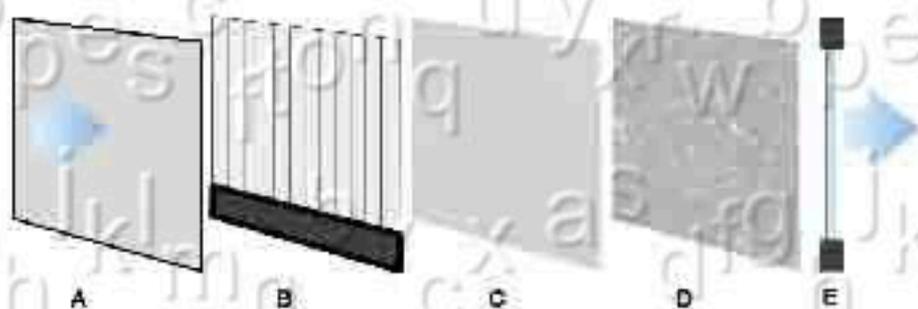
I filtri catalitici per aria ad uso civile sono genericamente riconducibili a questi tre schemi di funzionamento: il filtro A è fotocatalitico, in cui l'energia necessaria a promuovere le reazioni di ossidazione a carico delle sostanze inquinanti gassose, proviene dall'irraggiamento ultravioletto emesso da lampade speciali (3). Le lampade e il supporto catalitico (2) sono precedute da un prefiltro (1). Nel caso B è illustrato un filtro elettrostatico - catalitico: l'energia questa volta proviene da un campo elettrostatico che si instaura tra gli elementi ionizzanti (4) e gli elettrodi (2), tra i quali si applica una elevata differenza di potenziale. Nello schema C, è illustrato un filtro elettrolitico - catalitico, all'interno del quale si utilizza una corrente elettrica applicata tra il substrato catalizzatore (2) e un elettrodo (6), separati da un setto elettrolitico (5).



**Figura 5.2**

Schema di filtro elettrostatico - catalitico (elettroattivo) per ventilazione generale.

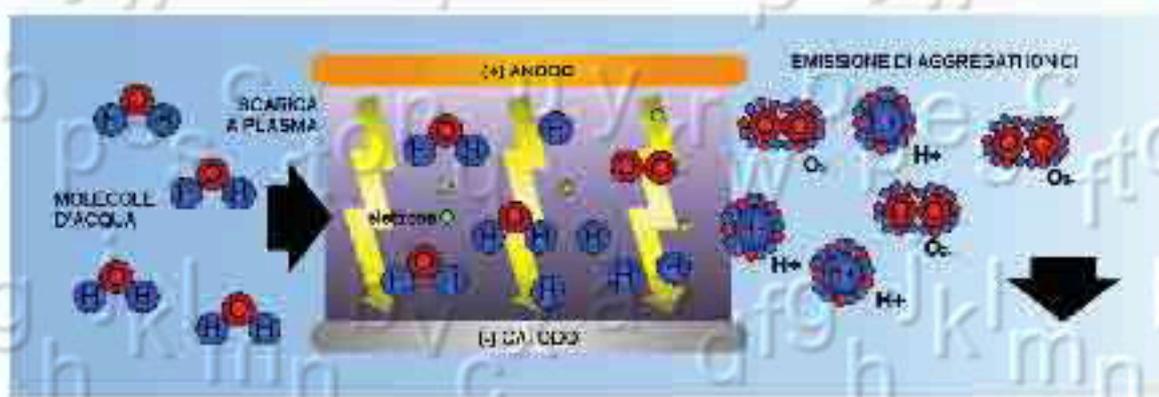
1. prefiltro per inquinanti grossolani;
2. stadio di ionizzazione caricato elettrostaticamente da un alimentatore esterno;
3. matrice fibrosa ricoperta di catalizzatore;
4. stadio di deflessione elettrostatica;
5. elettrodo di terra (collettore) e postfiltro di sicurezza.



**Figura 5.3**

Alcuni filtri catalitici particolarmente sofisticati riuniscono in sé più tecnologie: in questo esempio possiamo vedere un filtro combinato elettro-foto-catalitico: l'aria da trattare attraversa un prefiltra (A), quindi una barriera elettrostatica ad alta tensione (B), a valle della barriera elettrostatica troviamo un primo supporto filtrante catalitico (C), seguito da un secondo (D), esposto alla luce ultravioletta emessa dalla lampada (E).

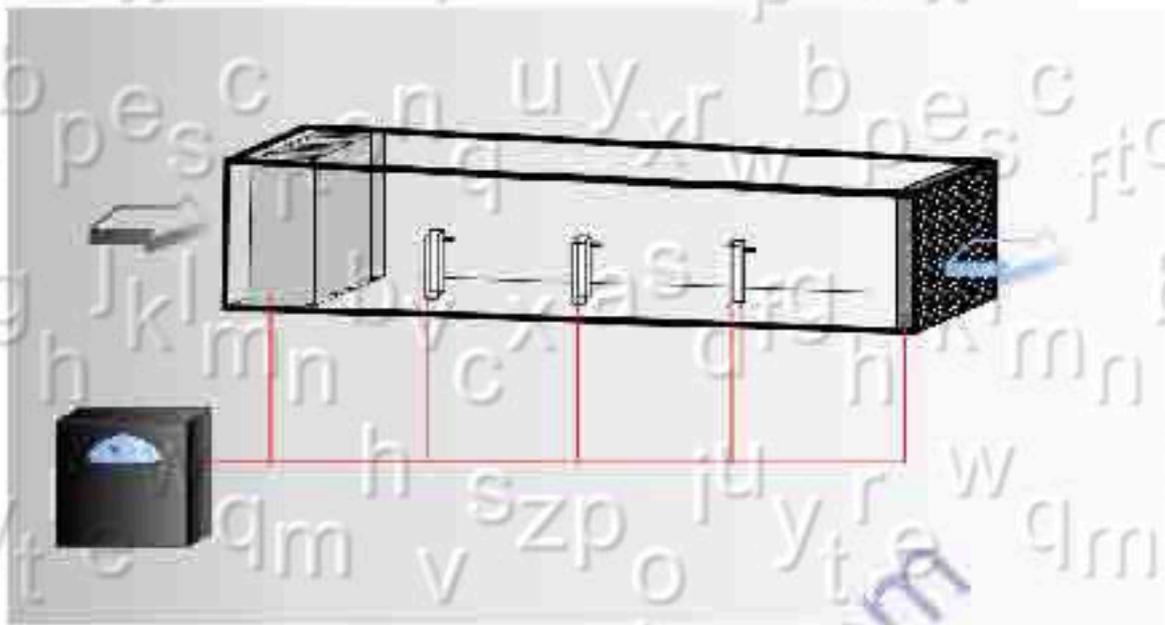
[www.ariaclub.it](http://www.ariaclub.it)



**Figura 5.4**

Un metodo che si è dimostrato molto efficace per eliminare i contaminanti biologici (virus, muffe, batteri) negli ambienti chiusi, consiste nella creazione di grossi aggregati ionici attraverso la ionizzazione dell'aria umida. Gli aggregati circondano i microrganismi e li inattivano attraverso reazioni di ossidazione e riduzione.

www.ariacube.it



**Figura 5.5**

Nelle canalizzazioni degli impianti destinati a servire locali particolarmente sensibili alla contaminazione biologica (industrie alimentari, farmaceutiche, laboratori), è possibile mantenere una efficace sterilizzazione attraverso l'utilizzo di filtri elettrostatici seguiti da generatori di anioni: questo sistema permette di evitare le pesanti perdite di carico indotte dai tradizionali filtri assoluti, garantendo inoltre l'assenza di contaminazione senza dovere ricorrere all'irraggiamento ultravioletto o all'azione di agenti chimici. Anche le sostanze organiche volatili subiscono una degradazione ossidativa, che può essere resa estremamente efficiente rivestendo l'interno della condotta con materiale catalitico.



**Figura 5.6**

Immagine fotografica, ottenuta con tecniche speciali, che mette in evidenza il flusso di ioni negativi emesso da un dispositivo per la ionizzazione dell'aria all'interno delle condotte di ventilazione.

[www.ariatcube.com](http://www.ariatcube.com)