

# **Batteri nelle condotte di ventilazione. Rimozione e attenuazione di vitalità tramite barriera filtrante di tipo elettrostatico.**

LUIGI BONTEMPI<sup>o</sup>, MARIANGIOLA DOTTORI<sup>§</sup>, GABRIELE FAVA<sup>§</sup>, MARIA LETIZIA RUELLO<sup>§</sup>

*§Dipartimento di Fisica e di Ingegneria dei Materiali e del Territorio. Facoltà di Ingegneria.  
Università di Ancona: via Brezze Bianche – 60100 - Ancona*

*°Tecnica Bontempi s.n.c.: via Lombardia 14/16 – 25012 Calvisano (BS)*

## **Sommario**

Oggetto del presente lavoro è la rimozione di bioaerosoli e microrganismi da condotte di ventilazione o aerodispersi in ambienti confinati di vita tramite filtri d'aria elettrostatici commerciali (attivi e a piastre piane doppio stadio) di tipo "Femec". E' stato studiato l'abbattimento della carica batterica totale e l'influenza del campo elettrico (scarica corona) sulla vitalità dei microrganismi in condizioni di flusso stazionario e modalità operative costanti. La ricerca è stata condotta impiegando una metodologia che si basa sull'utilizzo di coloranti intercalari del DNA e permette di effettuare la distinzione e il conteggio dei batteri vivi e morti mediante microscopia ad epifluorescenza. In questo modo si è voluto evidenziare l'effetto battericida ottenuto durante la filtrazione.

Le prove sono state eseguite utilizzando, come sorgente di contaminazione biologica, aria prelevata direttamente da bocchette di immissione collegate ad un impianto di climatizzazione di tipo misto in dotazione ai laboratori chimico-ambientali dell'Università di Ancona.

I risultati ottenuti su un totale di 152 prove evidenziano l'effetto del filtro nella rimozione della carica batterica totale: in particolare la presenza di batteri è risultata nulla nel 73% dei campioni di aria filtrata in presenza di campo elettrico, mentre in mancanza di campo elettrico solo nel 37% dei casi si è constatata assenza di batteri.

La vitalità dei batteri si è dimostrata variata nel rapporto vivi/morti in seguito ad un unico passaggio attraverso il filtro; ciò suggerisce un concomitante ulteriore effetto positivo del sistema adottato in relazione alla problematica delle condotte ventilanti.

## **Abstract**

Contaminated central air handling systems can become breeding grounds for biological contaminants and can then distribute these contaminants through the home. The aim of this work is to evaluate the dust removal and bacteria minimisation by means of a commercial electronic air cleaner, from a ductwork of a central heating and air-conditioning systems serving the environmental analysis laboratory of the Department of Materials and Environmental Engineering & Physics of Ancona University. Bacteria removal and microorganism viability were observed under steady flow conditions following two different sampling-analysis strategies. The first is based on the use of a SAS sampler combined with a general plate count agar (PCA) substrate, the second uses fluorescent dyes allowing to distinguish and count viable and non viable cells by means of epifluorescent microscopy. Results obtained observing 152 PCA samples evidence the effect of the electronic filter employed on the reduction of the total bacteria count, particularly the 73% of the samples resulted liberated from bacterial grown in the presence of the electronic filter, while only the 23% of the samples were found uncontaminated in the absence of the filter. The ratio viable/non-viable calculated on the basis of the epifluorescent results changes significantly even after one single passage through the electronic filter suggesting a concomitant further positive effect of the adopted system in relation to the central air ducting system.

## **1. Introduzione**

La ventilazione, i sistemi di condizionamento/riscaldamento sono realizzati al fine di provvedere adeguata qualità dell'aria in ambienti interni. In generale, l'aria esterna è portata a livelli appropriati di umidità, temperatura e purezza (bassi valori di particelle e sostanze odorigene) al fine di raggiungere condizioni confortevoli per gli occupanti e garantire condizioni di sicurezza per i lavoratori durante le operazioni associate ai processi produttivi [1-2]. L'aerosol atmosferico contiene particelle provenienti da svariate fonti, ma principalmente da processi di combustione. A queste si sommano particelle di origine biologica (bioaerosoli) quali batteri, spore fungine e pollini presenti in aria ambiente. Nonostante la loro modesta concentrazione numerica rispetto a quella degli aerosoli

inorganici, essi possono comportare un importante impatto sulla salute [3-4]. Una varietà di effetti negativi è infatti generata da microrganismi, quando depositati nei tratti dell'apparato respiratorio. Per esseri infettivi i microrganismi debbono essere vitali, mentre possono provocare reazioni allergiche con fenomeni febbrili ed asmatici se inalati anche non vitali [5÷9]. E' stato riportato nella letteratura recente come diversi materiali fibrosi in uso domestico (feltri, carte da parati, filtri in tessuto/non tessuto) possono essere sorgenti importanti di microrganismi e loro luogo di crescita se l'umidità relativa supera valori del 70%. Alcuni autori [10] hanno osservato una contaminazione microbica nei filtri in dotazione al sistema di condizionamento dell'aria di un ospedale, con successivo rilascio degli stessi nell'aria pulita; nessuna correlazione fra la crescita sui filtri e la concentrazione delle spore in aria ambiente è sembrata comunque evidente. Tuttavia, in queste condizioni particolari, la velocità di crescita, il successivo rilascio ed il modo di dispersione in ambiente dovranno essere attentamente valutati.

La ricerca in oggetto vuole studiare la rimozione di bioaerosoli ottenuta tramite sistemi elettronici che non utilizzano materiali filtranti, possibili luoghi di crescita di microrganismi, e l'influenza sulla vitalità dei bioaerosoli in condizioni di flusso.

## **2. Materiali e metodi**

### *2.1. Il filtro elettronico "Femec"*

Il filtro elettronico "Femec" (Figura 1), come altri filtri d'aria elettrostatici, svolge la sua funzione filtrante sull'aria in transito principalmente in due fasi distinte. La prima fase ha il compito di polarizzare le particelle in sospensione nell'aria caricandole elettricamente mediante un intenso campo elettrico. La seconda fase invece ha il compito di separare dall'aria e collettare tali particelle di sporco polarizzate mediante campi elettrici uniformi, generati da piastre contrapposte e opportunamente elettrizzate. Questa innovativa soluzione si presenta con due sezioni separate e ben distinte, differenti nella tecnologia costruttiva ed ognuna con le proprie finalità funzionali [11].

La prima sezione è composta di elettrodi polarizzatori (fili) e particolari isolanti (elementi attivi). La seconda, destinata allo sporco e quindi alla pulizia e alla manipolazione (elemento passivo), è composta di elementi piani metallici (alluminio) assemblati assieme a

formare una struttura solida, affidabile e perfettamente rigenerabile tramite un semplice lavaggio. Le parti attive della prima sezione sono solidali alla struttura portante dove è inserito il filtro stesso. Non essendo soggette a manutenzione ordinaria e quindi a manipolazioni, esse possono essere costruite in modo tale da garantire affidabilità e sicurezza a costi molto contenuti senza l'impiego di materiali speciali, delicati e costosi (isolatori).

La seconda sezione (il collettore) è realizzata in alluminio, generalmente estruso, che permette soluzioni dimensionali molto diversificate le quali consentono di adattarsi alle più svariate esigenze realizzative e d'ingombro. Questa seconda sezione è composta a sua volta in due parti: una passiva collegata a massa finalizzata al collettamento dello sporco e una attiva sottoposta a tensione indotta generata dall'elettrodo polarizzatore. Questa soluzione permette di ottenere campi elettrici sulle superfici contrapposte di raccolta senza necessità di un'ulteriore alimentazione elettrica. Inoltre rende ogni zona del collettore indipendente una dall'altra evitando così che un corto circuito accidentale di una sezione possa inficiare il funzionamento dell'intero filtro.

I corti circuiti momentanei provocati dall'eventuale intasamento localizzato del filtro o dalla presenza di particolati di grandi dimensioni portano ad una temporanea perdita totale di efficienza del filtro elettronico "tradizionale" in quanto la parte attiva del collettore è interamente collegata ad una seconda alimentazione.

I filtri d'aria elettronici sono oggi impiegati per separare e trattenere particelle molto piccole presenti nell'aria che respiriamo (es: fumo di tabacco), con efficienze elevate e con perdite di pressione molto basse nei circuiti aeraulici [11÷14]. Inoltre sono perfettamente igienizzabili (mediante lavaggio con vapore per esempio) e interamente rigenerabili, contribuendo così ad un effettivo risparmio e ad una facilità gestionale di impianti ventilanti particolarmente esposti ad agenti biologici aero-dispersi. Infatti i costi di sostituzione dei filtri d'aria in tali impianti sono a volte talmente onerosi che si preferisce non effettuare o ritardare al massimo la necessaria manutenzione, provocando così situazioni di vero e proprio "pericolo ambientale", sia di natura biologica e non, il quale è spesso maggiore che in assenza completa di sistemi filtranti.

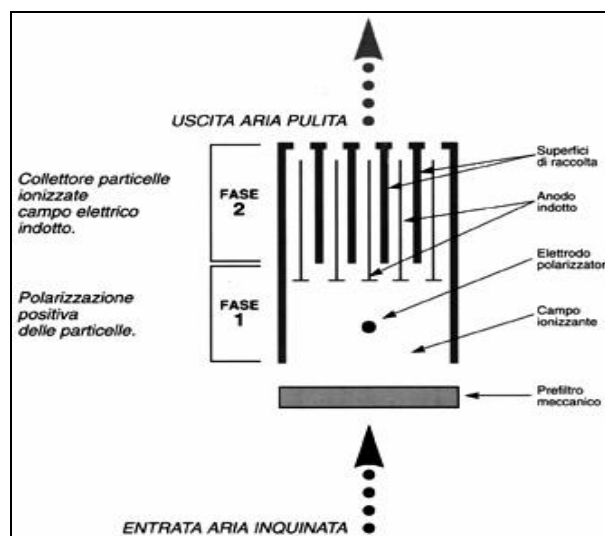


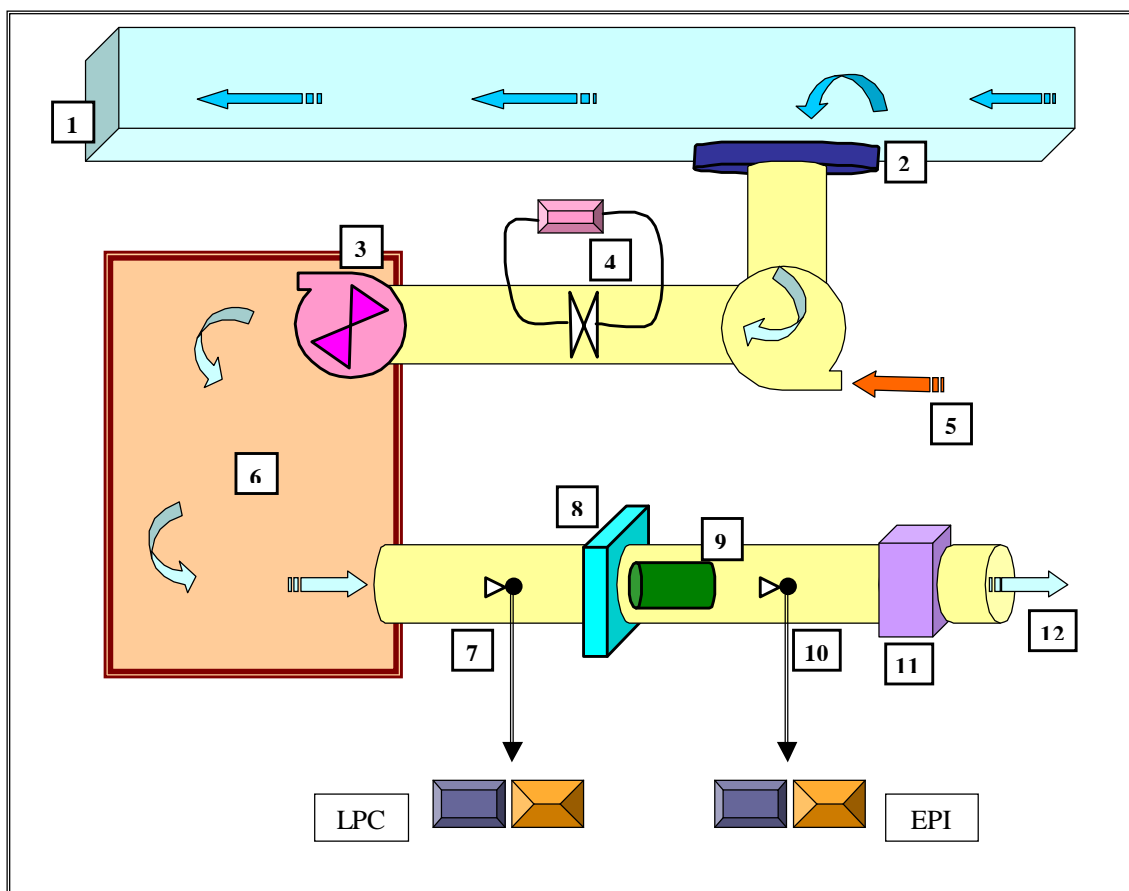
Fig. 1 – Filtro elettronico “Femec”

## 2.2. Bioaerosoli

La generazione di aerosoli è stata realizzata seguendo due distinte modalità operative. La prima utilizza, come sorgente di particelle inorganiche e bioaerosoli, aria prelevata direttamente dall'impianto di climatizzazione, di tipo misto, in dotazione ai laboratori chimico-ambientali dell'Università di Ancona. L'impianto prevede l'utilizzo di aria primaria esterna, fornita da un impianto centrale di ventilazione, mentre la climatizzazione dei locali è prodotta da apparecchi termici localizzati nei singoli ambienti. Il ricircolo di aria filtrata avviene tramite le bocchette di immissione collegate al sistema di climatizzazione.

La seconda modalità operativa utilizza, come sorgente di contaminazione biologica, aerosol ottenuto tramite un generatore ultrasonico commerciale di umidità (Criofog P 3000 frequenza 2 MHz) [14-15]. L'umidificatore è alimentato con una soluzione di  $2 \cdot 10^7$  cellule di *Escherichia Coli* per ml di acqua distillata preparata per diluizione di una coltura di  $10^{10}$  cellule per ml. Una volta aerosolizzata, l'acqua evapora rapidamente dalla gocciolina lasciando un residuo contenente le cellule batteriche ed eventuali solidi sospesi.

Al fine di ottenere la maggiore uniformità possibile nelle concentrazioni batteriche e di particolato nell'aria, è stata introdotta una camera di ugualizzazione. L'insieme del sistema di generazione/campionamento è schematizzato in Figura 2.



Legenda:

1 Canale, 2 Diffusore, 3 Ventilatore, 4 Misura di portata, 5 Generazione aerosol, 6 Camera di ugualizzazione, 7 Prelievo a monte del filtro Femec, 8 Filtro elettronico Femec, 9 Campionatore SAS, 10 Prelievo a valle del filtro, 11 Filtro chimico-fisico assoluto finale, 12 Espulsione aria, LPC Contatore laser di particelle, EPI Prelievo per il conteggio tramite microscopia ad epifluorescenza.

Fig. 2 – Sistema di generazione-campionamento

### 2.3. Campionamento-Analisi

I campioni di bioaerosoli e di aerosoli totali sono analizzati seguendo diverse strategie analitiche di seguito descritte.

#### 2.3.1. Metodo 1: conteggio dei batteri mediante piastre con terreno colturale

L'abbattimento della carica microbica è valutato tramite un campionamento dell'aria in uscita dall'elettrofiltro mediante un campionatore attivo S.A.S. (Surface Air System). L'apparecchiatura di prelievo è posizionata a diretto contatto con la superficie di uscita del filtro in condizioni rispettivamente di filtro acceso e spento (punto 9, Figura 2) [12]. Sono aspirati volumi di aria da un minimo di 60 l ad un massimo di 2700 l ed utilizzate piastre rodac con terreno colturale specifico per la determinazione della carica microbica totale, il

Plate Count Agar o PCA. Le piastre, termostatate alla temperatura di 37°C per 48 ore, vengono conteggiate per esprimere i risultati in unità formanti colonia (CFU/m<sup>3</sup>).

### *2.3.2. Metodo 2: conteggio dei batteri mediante microscopia ad epifluorescenza*

La seconda metodologia prevede l'utilizzo di capsule in policarbonato di diametro di 25mm per il campionamento dei batteri. A seconda delle necessità analitiche le capsule sono dotate di filtri nucleopore neri in policarbonato, porosità di 0.4 µm, o filtri anodisc, porosità di 0,2 µm. Le capsule, collegate ad una pompa a vuoto con portata di 14 l/min, sono posizionate all'interno del condotto di mandata dell'aria a monte ed a valle del filtro elettronico; i volumi di aria aspirati vanno da un minimo di 14 l ad un massimo di 210 l (punti di prelievo 7 e 10 in Figura 2). Al termine del campionamento i filtri vengono fissati e colorati con una soluzione di Acridine Orange (un colorante intercalare del DNA) e formalina e montati su dei vetrini. La visione dei vetrini al microscopio ad epifluorescenza permette il conteggio diretto del numero di cellule batteriche. Questa tecnica permette solo un conteggio totale delle cellule batteriche a prescindere dalla loro attività vitale.

### *2.3.3. Metodo 3: conteggio degli aerosoli totali*

La misura degli aerosoli totali viene realizzata con uno strumento laser (LPC) per la determinazione delle particelle (DUSTTRACK™ Aerosol Monitor Model 8520) via scatteraggio luminoso (punti di prelievo 7 e 10 in Figura 2).

### *2.3.4. Metodo 4: verifica della vitalità dei batteri*

Al fine di verificare oltre l'efficienza di rimozione dell'elettrofiltro, anche l'effetto sulla vitalità dei batteri campionati, sono state adottate due ulteriori strategie di controllo.

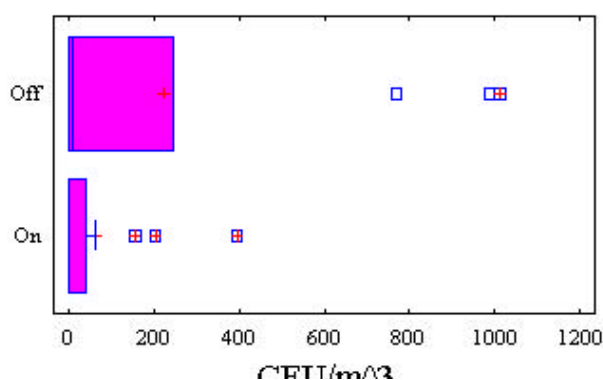
La prima si basa sui conteggi mediante le piastre colturali in campioni prelevati direttamente sulle superfici interne del filtro. In particolare la metodologia prevede l'impiego di volumi di 200µl di Agar molle (Brain Heart infusion agar) contenente E.Coli versati su dei salvafiltri (diametro 25mm) posizionati sulle piastre di raccolta del 1° stadio dell'elettrofiltro. Su ciascuna lastra è possibile collocare 4 salvafiltri ad una distanza reciproca di circa 1 cm al fine di ottenere un campionamento più rappresentativo. Al termine della prova i salvafiltri sono prelevati ed immersi singolarmente in provette contenenti una soluzione fisiologica. Questa operazione consente la risolubilizzazione del terreno di coltura necessaria per la semina di E.Coli sulle piastre Petri da incubare successivamente a 37°C per 48 h.

Nella seconda modalità di verifica la vitalità dei microrganismi è determinata mediante microscopia ad epifluorescenza utilizzando la doppia colorazione Sybr green I, SG (Molecular Probes, Eugene, Oregon, USA), Ioduro di Propidio, PI, (Sigma, St. Louis, Montana, USA). Entrambi i coloranti sono in grado di formare specifici legami con il DNA dei microrganismi; la differenza risiede nella loro diversa capacità di attraversare la membrana plasmatica [16-17].

### 3. Risultati e discussione

I risultati ottenuti sugli aerosoli provenienti dalla condotta di ventilazione sono riassunti per brevità nelle Figure 3÷6 e Tabelle I÷IV. Le analisi sulle piastre rodac, ammontano ad un numero di prelievi pari a 27 dalle quali si può osservare come la media dei batteri conteggiati ad elettrofiltro spento, pari a 223 CFU/m<sup>3</sup>, sia significativamente superiore a quella osservata in caso di elettrofiltro attivo, pari a 62 CFU/m<sup>3</sup>. In Tabella I sono riassunti tutti i principali parametri statistici di confronto illustrati nel grafico di Figura 3 come la media, la mediana e l'intero intervallo osservato nelle misure: si può osservare la maggiore dispersione dei dati con modalità operativa a filtro spento. In Tabella II e Figura 4 sono riportati i rendimenti di abbattimento ottenuti: dato il tipo di campionamento non simultaneo tra l'ingresso e l'uscita il valor medio pari all'89,5% deve essere considerato solo come indicazione di massima.

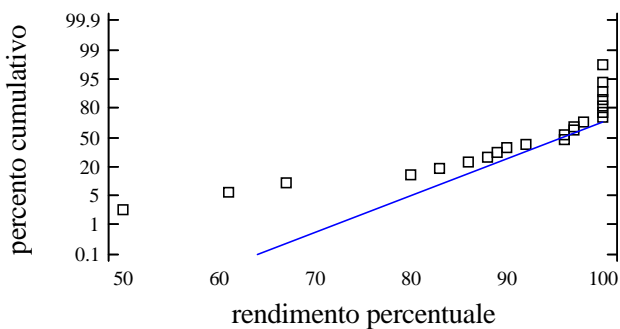
La valutazione del rendimento di abbattimento può essere invece più correttamente determinata dalle analisi eseguite in epifluorescenza in quanto, in questo caso, i campioni vengono prelevati contemporaneamente in ingresso e in uscita dal filtro, consentendo quindi il calcolo come  $\eta = (c_{in} - c_{out}) / c_{in}$ . Come in precedenza, la Tabella III e la Figura 5 contengono l'insieme dei parametri statistici più significativi, mentre la Tabella IV e la Figura 6 riportano la media e i percentili elevati rispettivamente pari all'85% e 98%. Questi risultati sono peraltro in sostanziale accordo con quelli indicati sopra.



Tab. I – Statistica dei risultati

	OFF	ON
Numero	14	13
Media	223	62,4
Varianza	1,50E+05	1,44E+04
Deviazione standard	388	120
Minimo	0	0
Massimo	1,01E+03	394
Intervallo	1,01E+03	394

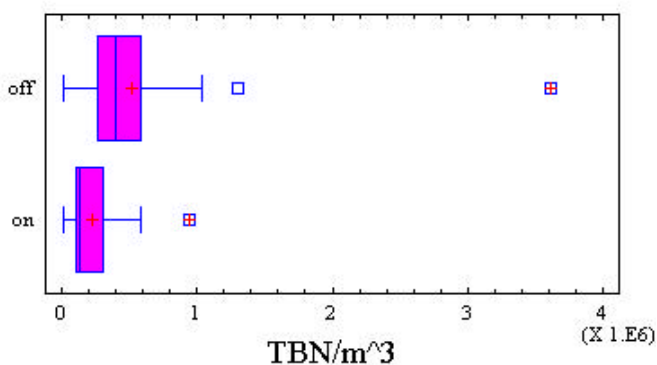
Fig.3 – Rimozione di batteri in condotta di ventilazione: metodo 1



Tab. II - Statistica dei risultati

	RENDIMENTO
Numero	22
Media	89.6
Varianza	194
Deviazione standard	13.9
Minimo	50
Massimo	100
Intervallo	50

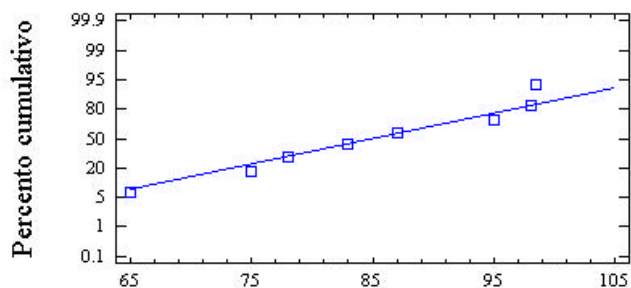
Fig. 4 - Rendimento percentuale di rimozione batteri in condotta di ventilazione: metodo 1



Tab. III - Statistica dei risultati

	OFF	ON
Numero	45	32
Media	516644	230478
Varianza	2,86E+11	4,13E+10
Deviazione standard	534911	203166
Minimo	14100	10600
Massimo	3,61E+06	949500
Intervallo	3,59E+06	938900

Fig. 5 – Rimozione di batteri in condotta di ventilazione: metodo 2

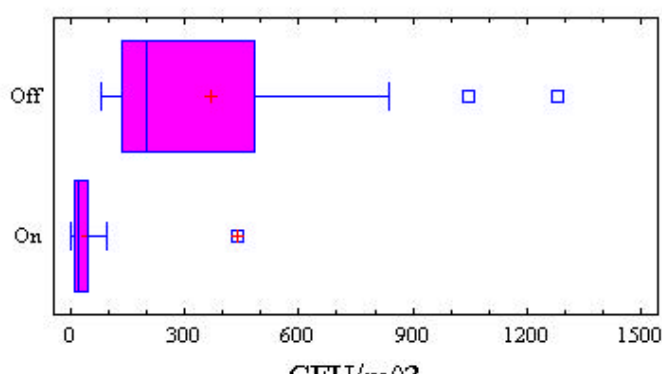


Tab. IV - Statistica dei risultati

	RENDIMENTO
Numero	8
Media	84,9
Varianza	144
Deviazione standard	12
Minimo	65
Massimo	98,5
Intervallo	33,5

Fig. 6 - Rendimento percentuale di rimozione batteri in condotta di ventilazione: metodo 2

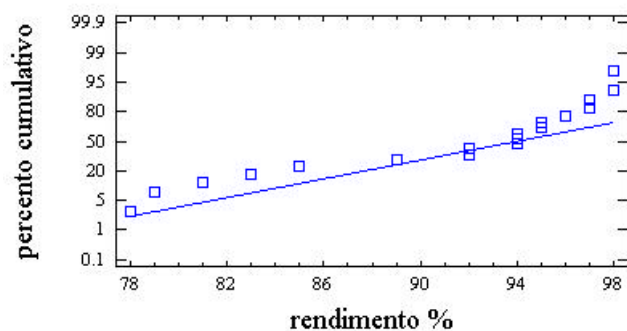
Il numero dei batteri riscontrati nelle misure in condotta di climatizzazione risulta abbastanza irregolare in conseguenza di una molteplicità di fattori casuali quali condizioni climatiche esterne, il grado di occupazione dei locali interni, la frequenza di sostituzione dei filtri in dotazione all'impianto centralizzato. E' sembrato quindi opportuno eseguire le prove in condizioni operative più controllabili e ripetibili. A questo scopo è stata verificata una generazione di batteri partendo da una coltura controllata di Escherichia Coli. Tale batterio è stato scelto in virtù di considerazioni di tipo sanitario e dalla circostanza che esso è già stato utilizzato per la valutazione della disinfezione dell'aria per mezzo di tecnologia basata sull'impiego di raggi ultravioletti. Sono dunque disponibili indicazioni delle dosi di radiazioni a 254 nm necessarie per disattivare il batterio dell'E.Coli [18]. La metodologia di generazione adottata ha fornito sufficiente ripetibilità delle prove consentendo di aumentare la confidenza nei risultati ottenuti. Nelle Figure 7 ÷ 8 e Tabelle V ÷ VI si può valutare come la differenza fra le condizioni di filtro acceso e spento (on/off) risulti più precisa, con minor dispersione nei risultati ottenuti. Anche in questo caso l'efficienza di rimozione non può essere calcolata direttamente come differenza normalizzata tra l'ingresso e l'uscita, tuttavia la omogeneità nei risultati ottenuti nelle misure ripetute ci consente di indicare un rendimento medio di abbattimento pari a circa al 91%. In effetti, i rendimenti ottenuti seguendo la riduzione delle particelle contate tramite LPC indicano un valore medio del 93%circa, come illustrato nelle Figure 9 e 10.



Tab. V - Statistica dei risultati

	OFF	ON
Numero	19	19
Media	372	47,5
Varianza	116691	9538
Deviazione standard	342	97,7
Minimo	77,8	2,2
Massimo	1278	439
Intervallo	1200	437

Fig. 7 - Rimozione di E. Coli: metodo 1



Tab. VI - Statistica dei risultati

	RENDIMENTO
Numero	18
Media	90,9
Varianza	45,5
Deviazione standard	6,7
Minimo	78
Massimo	98
Intervallo	20

Fig. 8 - Rendimento percentuale di

rimozione E.Coli: metodo 1

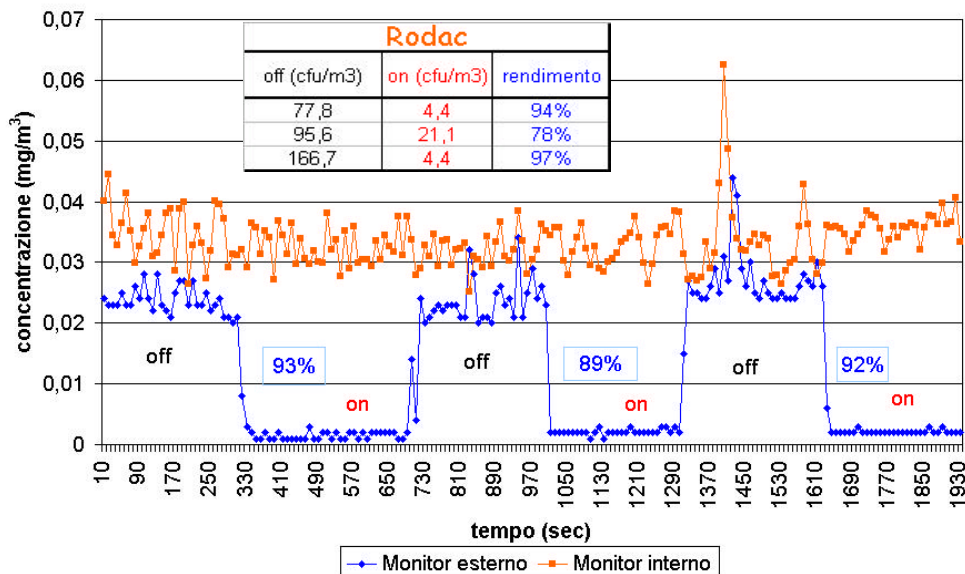


Fig. 9 – Monitoraggio LPC aerosoli totali: metodo 3

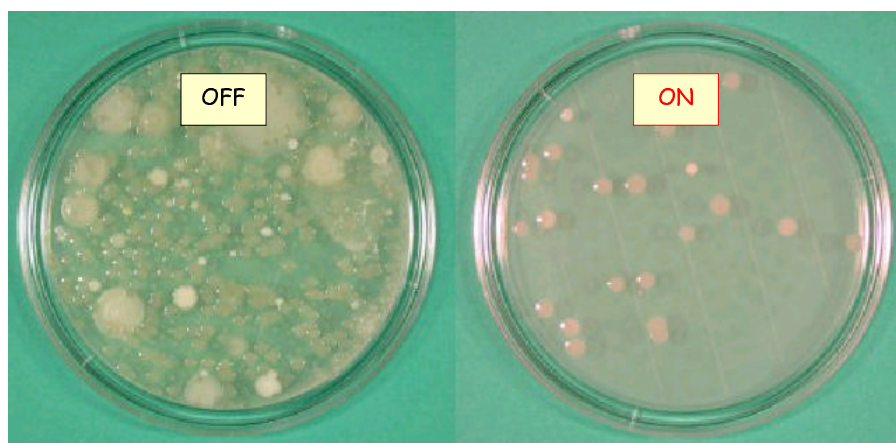


Fig. 10 – Aria in uscita dall’elettrofiltro: rimozione degli E.Coli: metodo 1

Si è voluto infine verificare se il campo elettrico possa influenzare anche la vitalità dei batteri. Batteri di E.Coli depositati direttamente sull’elettrodo di raccolta del primo stadio del filtro elettronico subiscono, in virtù del campo elettrico applicato, una marcata azione battericida come bene osservabile nella Figura 11. Infatti in assenza di campo elettrico, la crescita di batteri raccolti a fine prova risulta ben visibile, mentre nelle stesse condizioni fluidodinamiche, ma in presenza di campo elettrico, la crescita batterica osservata sul terreno di coltura risulta trascurabile. La verifica eseguita sui batteri in uscita dall’elettrofiltro non è risultata possibile in quanto il loro numero è sistematicamente troppo piccolo ed i dati troppo esigui per poter fornire indicazioni precise.

Il metodo di osservazione basato sull’epifluorescenza è più sensibile e quindi più idoneo a fornire ulteriori suggerimenti in merito. A questo proposito si è considerato il rapporto tra i microrganismi vivi e quelli morti osservato in uscita dall’elettrofiltro in condizioni di assenza o presenza di campo elettrico. In Figura 12 ed in Tabella VII i risultati mostrano un valore medio del rapporto vivi/morti pari a 2,7, significativamente diverso dal valor medio di 1,4 dello stesso rapporto ottenuto in presenza di campo elettrico. In Figura 13 la diversa colorazione assunta dai batteri, in seguito all’azione dei coloranti, mostra con altra modalità di indagine, il diverso rapporto tra vivi (verdi) e morti (rossi).

L’insieme dei risultati conseguiti tende a suggerire una influenza diretta del campo elettrico anche sulla vitalità dei batteri analizzati.

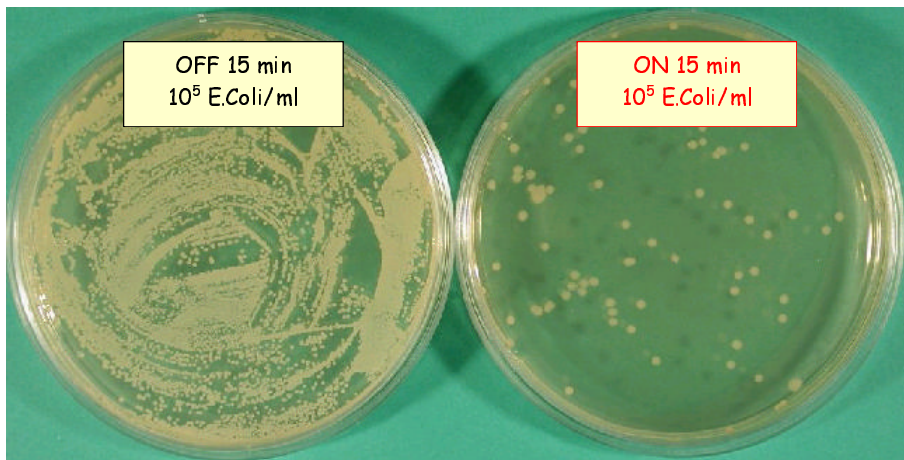
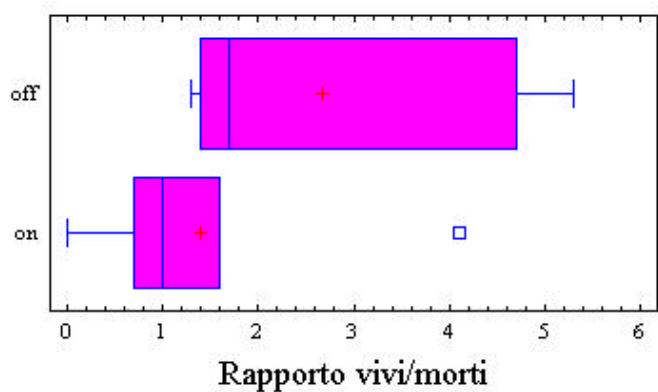


Fig. 11 – Effetto battericida dell’elettrofiltro su E.Coli: metodo 4 strategia 1



Tab. VII - Statistica dei risultati

	OFF	ON
Numero	6	6
Media	2,7	1,4
Varianza	3,3	2,0
Deviazione standard	1,8	1,4
Minimo	1,3	0
Massimo	5,6	4,1
Intervallo	4	4,1

ventilazione: metodo 4 strategia 2

Fig. 12 – Batteri in condotta di

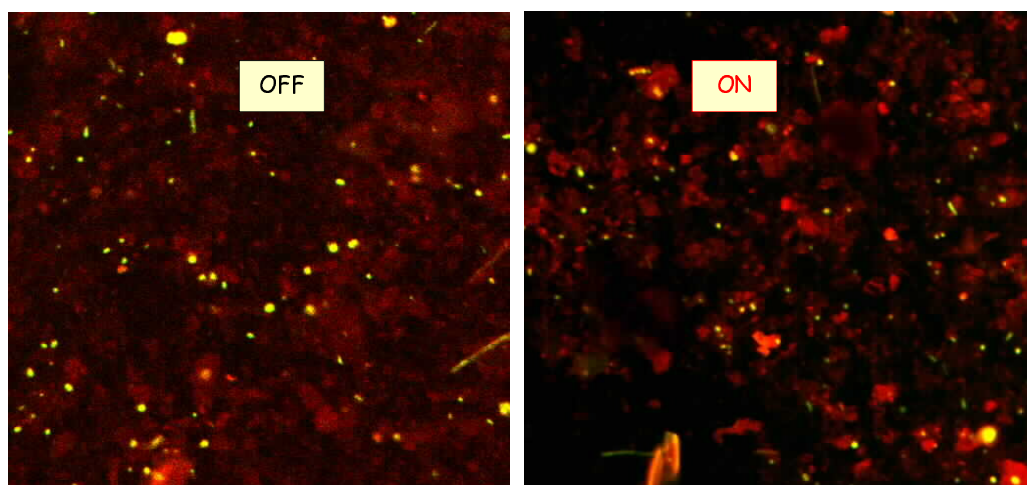


Fig. 13 – Batteri vivi(verdi) e morti (rossi) in uscita dall'elettrofiltro: metodo 4 strategia 2

#### 4. Conclusioni

Il filtro elettronico impiegato, installato sulla condotta dell'impianto centralizzato di climatizzazione dell'aria, rimuove le particelle totali con buona efficienza come dimostrato dal conteggio numerico eseguito con strumento laser LPC. L'effetto del filtro sulla contaminazione di tipo biologico è stata valutata sia sul pulviscolo ambientale che su aerosol sintetico generato partendo da coltura di E.Coli. In entrambi i casi è stata constatata una riduzione di carica batterica per filtrazione elettrostatica sia tramite confronto di tipo statistico che per confronto diretto entrata-uscita dal filtro.

La possibilità che i bioaerosoli una volta catturati vengano ridispersi in ambiente viene mitigata dall'azione battericida del filtro, come evidenziato sulle colonie di E.Coli collocate all'interno del filtro stesso. Anche il rapporto vivi/morti ottenuto con la tecnica della microscopia ad epifluorescenza in uscita dal filtro indica una diminuzione di vitalità sui batteri, comunemente presenti nella condotta di ventilazione, a conferma dei risultati sopra commentati.

Dai risultati ottenuti emerge infine l'opportunità di proseguire le ricerche con l'obiettivo di valutare, oltre l'efficienza della barriera filtrante di tipo elettrostatico, la sua efficacia una volta installata a protezione degli ambienti di vita.

#### Bibliografia

1. Melino C., Pasquarella A, Lo Russo NA. *Inquinamento "indoor"* Clin. Ter. 1991.

2. Gilli G e Carraro E. *Inquinanti aerodispersi: distribuzione ambientale ed effetti sulla salute*. "Igiene dell'ambiente e del territorio". Ed. Medico-Scientifiche, 1989.
3. Federal Standard 209E *Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones*. 1992
4. Burge S., Hedge A., Wilson S., Bass Y.H., Robertson A.S. *Sick Building Syndrome: a study of 4373 office workers*. Ann. Occup. Hyg, 1987.
5. Gregory P.H. *The microbiology of the atmosphere*; 2<sup>nd</sup> Ed. Wiley, New York, 1973.
6. Berardi B.M., Leoni E., Marchesini B., Cascella D., Raffi G.B. *Effetti di una inefficace ventilazione sulla qualità dell'aria in ambienti condizionati dal terziario*. Atti 53° Congresso Nazionale della Società Italiana di Medicina del Lavoro e Igiene Industriale. Stresa 10-13 ottobre, 1:173-80.
7. Cheng-yan Li e Zhi-ting Zeng. *A report on indoor bacterial contamination in air and the effect of room ventilation and purification*. Proc Indoor Air, Toronto 1990.
8. Kodama A.M. and McGee R.L. *Airborne microbial contaminants in indoor environments. Naturally ventilated air-conditioned homes*. Arch Environ Health 1986.
9. Spiegelman J., Friedman H., Blumstein G.I. *The effects of central air conditioning on pollen, mold and bacterial concentrations*. J. Allergy 1963.
10. Elixmann J.H., Schata M., Jorde W., *Fungi in filters of air conditioning systems cause the building related illness*. Proc. V Int. Conf. Indoor Air Quality Climate, Toronto, 1990.
11. Bontempi L. *Ventil Convettore con Filtro Elettrostatico dell'Aria*. CDA 1995
12. Bontempi L., D'Errico M., Fava G., *Abbattimento della carica batterica totale aerodispersa mediante barriera filtrante di tipo elettrostatico*. Ingegneria Ambientale 2001.
13. Offermann F.J., Sextro R.G., Fisk W.J., Grimsrud D.T., Nazaroff W.W., Nero A.V., Rezvan K.L., Yater J. *Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners*. Atmospheric Environment, 1985
14. Battistoni P., Bernetti R., Fava G. *Filtri elettrostatici a doppio stadio. Descrizione matematica e verifica dell'efficienza di rimozione di particelle respirabili*. Ingegneria Ambientale XXII(1). 1993.
15. ASHRAE standard 52-76. *Method of testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter*. New York, NY: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers Inc. 1976
16. Mezzanotte V., Citterio S., Ghiani A., Labra M., Sgorbati S. *Determinazione mediante citometria di flusso della carica batterica residua in reflui trattati*. Ingegneria Ambientale, 2000.
17. Barbesti S., Citterio S., Labra M., Baroni M.D., Neri M.G., Sgorbati S., *Two and tree – color fluorescence flow cytometric analysis of immuno identified viable bacteria*. Citometry 2000.
18. Field Controls Technical Bulletins *UV Air Purification*. 2001