

UNI/PdR XXX:2023	Filtri per la pulizia dell'aria e minimizzazione dei rischi biologici correlati negli ambienti confinati
Sommario	<p>La presente prassi di riferimento illustra il comportamento dei contaminanti aerotrasportati, e definisce le strategie per l'impiego dei sistemi di filtrazione dell'aria negli impianti HVAC per ridurre la presenza in aria di bioaerosol.</p> <p>Il documento fornisce, inoltre, indicazioni sui principi di filtrazione dell'aria, sulle tipologie di filtri disponibili e sulle relative modalità di selezione, utilizzo e manutenzione.</p>
Data	2023-07-21

Avvertenza

Il presente documento è un progetto di Prassi di Riferimento (UNI/PdR) sottoposto alla fase di consultazione, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti.

Il processo di elaborazione delle Prassi di Riferimento prevede che i progetti vengano sottoposti alla consultazione sul sito web UNI per raccogliere i commenti del mercato: la UNI/PdR definitiva potrebbe quindi presentare differenze rispetto al documento messo in consultazione.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine della consultazione, cioè il: 19 agosto 2023.

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti di Prassi di Riferimento in consultazione.

PREMESSA

La presente prassi di riferimento UNI/PdR xxx:2023 non è una norma nazionale, ma è un documento pubblicato da UNI, come previsto dal Regolamento UE n.1025/2012, che raccoglie prescrizioni relative a prassi condivise all'interno del seguente soggetto firmatario di un accordo di collaborazione con UNI:

CTI – Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente

Via Scarlatti, 29

20124 MILANO

La presente prassi di riferimento è stata elaborata dal Tavolo “Filtri per la pulizia dell'aria e minimizzazione dei rischi biologici correlati negli ambienti confinati” condotto da UNI, costituito dai seguenti esperti:

Nome Cognome 1 – Project Leader (organizzazione xyz)

Nome Cognome 2 (organizzazione yz)

Nome Cognome 3 (organizzazione xyz)

Nome Cognome 4 (organizzazione y)

Nome Cognome 5 (organizzazione xz)

Nome Cognome 6 (organizzazione z)

La presente prassi di riferimento è stata ratificata dal Presidente dell'UNI il xx xxxx 2023.

Le prassi di riferimento, adottate esclusivamente in ambito nazionale, rientrano fra i “prodotti della normazione europea”, come previsti dal Regolamento UE n.1025/2012, e sono documenti che introducono prescrizioni tecniche, elaborati sulla base di un rapido processo ristretto ai soli autori, sotto la conduzione operativa di UNI.

Le prassi di riferimento sono disponibili per un periodo non superiore a 5 anni, tempo massimo dalla loro pubblicazione entro il quale possono essere trasformate in un documento normativo (UNI, UNI/TS, UNI/TR) oppure devono essere ritirate.

Chiunque ritenesse, a seguito dell'applicazione della presente prassi di riferimento, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento è pregato di inviare i propri contributi all'UNI, Ente Italiano di Normazione, che li terrà in considerazione.

SOMMARIO

INTRODUZIONE.....	4
1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE.....	5
2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI.....	5
3 TERMINI E DEFINIZIONI.....	6
4 PRINCIPIO.....	7
5 CARATTERIZZAZIONE DEI CONTAMINANTI.....	7
5.1 Aerosol e bioaerosol.....	7
5.2 Comportamento aerodinamico del bioaerosol.....	10
6 FILTRAZIONE DELL'ARIA DA PARTICOLATO.....	11
6.1 Principi di filtrazione meccanica.....	11
6.2 Il principio dei filtri elettrostatici attivi a piastra.....	14
7 FILTRAZIONE DEL BIOAEROSOL.....	15
8 RUOLO DELLA FILTRAZIONE NELL'IMPIANTO.....	19
8.1 Aspetti generali.....	19
8.2 Calcolo dell'efficienza di filtrazione ODA.....	21
8.3 Calcolo della portata d'aria filtrata efficace nell'aria secondaria e di ricircolo.....	22
8.4 UTA, filtrazione nell'unità di trattamento aria, requisiti per evitare by-pass di aria non trattata e valutazione per l'incremento dell'efficienza di filtrazione.....	24
9 INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE DEGLI ELEMENTI FILTRANTI.....	25
9.1 Generalità.....	25
9.2 Procedura d'installazione e sostituzione.....	25
APPENDICE A Normativa di riferimento per la determinazione dell'efficienza di filtrazione e la classificazione dei filtri.....	27
APPENDICE B Classificazione dei filtri ed efficienza di filtrazione del bioaerosol.....	34
APPENDICE C Elementi filtranti, tipologie ed impieghi.....	37
APPENDICE D Altri dispositivi attivi di disinfezione a supporto della filtrazione dell'aria.....	46
BIBLIOGRAFIA.....	50

INTRODUZIONE

Il presente documento nasce a seguito della recente pandemia di SARS-COV-2 che, a partire dalla fine del 2019, ha pesantemente inciso su tutti gli aspetti della vita del Paese, tra cui anche le modalità di fruizione degli ambienti.

Già prima della pandemia le persone trascorrevano circa l'80% del tempo in ambienti confinati [1]. Le restrizioni dovute alla recente emergenza sanitaria, soprattutto le misure di lockdown adottate in numerosi Paesi, hanno ulteriormente incrementato questa percentuale.

In questo scenario, la qualità dell'aria ha assunto una valenza ancora maggiore, dovendo garantire anche le necessarie condizioni di sicurezza per contribuire a ridurre il rischio di contagio soprattutto in quegli ambienti non residenziali, luoghi di aggregazione, come scuole, uffici, centri commerciali, cinema, teatri, palestre e musei, indispensabili per la nostra vita sociale, economica e culturale.

Come ormai dimostrato da numerosi studi scientifici, la trasmissione del virus avviene non solo tramite contatto con superfici o oggetti contaminati o per contatto stretto con persone infette attraverso secrezioni della bocca e del naso, ma anche per via aerea. Il virus, infatti, può anche essere aero-trasportato dal normale aerosol presente nei luoghi chiusi e diffondersi in ambiente.

In aggiunta alle misure di distanziamento, igiene e protezione personale, anche una corretta ventilazione consente di ridurre il rischio di contagio, attraverso la diluizione e la riduzione della concentrazione della carica virale eventualmente presente negli ambienti.

La progettazione e la gestione degli impianti di climatizzazione e ventilazione devono pertanto cercare di bilanciare esigenze diverse e tra loro contrastanti: quelle legate al risparmio energetico, che in questi ultimi anni sono state forse predominanti, con quelle della salubrità degli ambienti e della tutela della salute degli occupanti, che la recente pandemia ha ribadito essere fondamentali.

In questo contesto, la filtrazione dell'aria assume un ruolo rilevante: sistemi di filtrazione correttamente progettati, installati e gestiti consentono di ridurre il numero di particelle presenti nell'aria che possono trasportare il virus e quindi limitare la necessità di aumentare eccessivamente le portate d'aria degli impianti di climatizzazione e ventilazione.

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente prassi di riferimento illustra il comportamento dei contaminanti aerotrasportati, e definisce le strategie per l'impiego dei sistemi di filtrazione dell'aria negli impianti HVAC per ridurre la presenza in aria di bioaerosol.

Il documento fornisce, inoltre, indicazioni sui principi di filtrazione dell'aria, sulle tipologie di filtri disponibili e sulle relative modalità di selezione, utilizzo e manutenzione.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

La presente prassi di riferimento rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi e legislativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nel presente documento come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento.

Accordo Ministero della Salute, Regioni e Province autonome del 27/09/2001 - Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati,

Decreto Legislativo n. 81 del 2008 (e s.m.i.) Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

05/10/2006 Accordo della Conferenza permanente per i rapporti tra lo stato le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano. Accordo, ai sensi dell'articolo 4 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, tra il Governo, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano sul documento recante: «Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione».

55/CSR/2013 Accordo della Conferenza permanente per i rapporti tra lo stato le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano Accordo del 7 febbraio 2013, Repertorio Atti n. 55, recante "Procedure operative per la valutazione e gestione dei rischi correlati all'igiene degli impianti di trattamento dell'aria"

79/CSR/2015: "Linee guida per la prevenzione ed il controllo della Legionellosi".

Decreto del Presidente del Consiglio e dei Ministri 26 luglio 2022. Linee guida sulle specifiche tecniche in merito all'adozione di dispositivi mobili di purificazione e impianti fissi di aerazione e agli standard minimi di qualità dell'aria negli ambienti scolastici e in quelli confinati degli stessi edifici.

UNI 11254 *Filtri per aria elettrostatici attivi per la ventilazione generale - Determinazione della prestazione di filtrazione*

UNI EN 1822-1 *Filtri per l'aria ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA) - Parte 1: Classificazione, prove di prestazione, marcatura*

UNI EN 1886 *Ventilazione degli edifici - Unità di trattamento dell'aria - Prestazione meccanica*

UNI EN 15780 *Ventilazione degli edifici – Condotti – Pulizia dei sistemi di ventilazione*

UNI EN 16798-1 *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6*

UNI EN 16798-3 *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 3: Per gli edifici non residenziali - Requisiti prestazionali per i sistemi di ventilazione e di condizionamento degli ambienti (Moduli M5-1, M5-4)*

UNI CEN/TR 16798-4 *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 4: Interpretazione dei requisiti nella EN 16798-3 - per gli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e condizionamento degli ambienti (Moduli M5-1, M5-4)*

UNI EN ISO 13053 *Ventilazione degli edifici unità di trattamento dell'aria classificazione e prestazioni per le unità, i componenti e le sezioni.*

UNI EN ISO 14644-3 *Camere bianche ed ambienti associati controllati - Parte 3: Metodi di prova*

UNI EN ISO 16890-1 *Filtri d'aria per ventilazione generale - Parte 1: Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell'efficienza basato sul particolato (ePM)*

UNI EN ISO 29462 *Misura in campo di elementi e sistemi filtranti per la ventilazione ordinaria per la determinazione in situ dell'efficienza di rimozione in funzione della dimensione delle particelle e della resistenza al moto dell'aria*

3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini del presente documento valgono i termini e le definizioni seguenti:

- 3.1. **aria di esfiltrazione (EXF):** Aria interna che esce dall'ambiente interno attraverso soluzioni di continuità presenti nell'involucro.
- 3.2. **aria di infiltrazione (INF):** Aria esterna che entra nell'ambiente interno attraverso soluzioni di continuità presenti nell'involucro.
- 3.3. **aria ricircolata/ aria di ricircolo (RCA):** Aria estratta da un locale e successivamente reimmessa nello stesso locale e/o in altri locali dopo aver subito un qualsiasi trattamento.
- 3.4. **aria espulsa (EHA):** Aria scaricata nell'ambiente esterno da un impianto di climatizzazione o ventilazione.
- 3.5. **aria esterna (ODA):** Aria che entra nell'impianto aeraulico e da questo nell'ambiente interno, oppure direttamente nell'ambiente interno attraverso aperture nell'involucro edilizio (comprese eventuali infiltrazioni).
- 3.6. **aria estratta (ETA):** Aria che lascia il locale trattato.
- 3.7. **aria immessa (SUP):** Aria trattata immessa in ambiente; può essere tutta aria esterna oppure una miscela di aria esterna e di aria di ricircolo.
- 3.8. **aria interna (IDA):** Aria nel locale o nella zona trattata.
- 3.9. **aria miscelata (MIA):** Flusso d'aria ottenuto mediante miscela di due o più flussi d'aria differenti per origine e/o condizioni.
- 3.10. **aria secondaria (SEC):** Aria ricircolata che viene reimmessa solo nel locale di provenienza.
- 3.11. **aria trasferita (TRA):** Aria interna che passa da un locale trattato a un altro locale trattato.
- 3.12. **bioaerosol:** Particelle di origine biologica con diametro aerodinamico fino a 100 µm sospese in un mezzo gassoso.

Nota: le particelle di bioaerosol includono virus, batteri, funghi, polline, detriti vegetali, frammenti di questi e loro derivati come endotossine, glucani, allergeni e micotossine.

Sorgente: UNI EN ISO 29464:2020 (3.2.22)

- 3.13. **portata d'aria filtrata efficace (PAFE):** Flusso d'aria di ricircolo (RCA) o secondario (SEC) che, se opportunamente filtrato, fornisce un utile contributo alla rimozione del bioaerosol, in aggiunta a quello ottenibile attraverso l'immissione di aria esterna.

Nota: l'uso dell'aria di ricircolo (RCA) nei locali differenti da quello in cui viene estratta (ETA) è vincolato dalla destinazione d'uso, dalla qualità della stessa aria ed è vincolato dalla normativa e legislazione vigente.

3.14. microrganismo: Unità di dimensioni microscopiche (con diametro equivalente sino a 100 μ m) che comprende virus, batteri, funghi (muffe e lieviti).

Sorgente, modificata: DIN/TS 67506:2022 e ISO 15714:2019

3.15. microrganismo patogeno: Microrganismo che può causare malattie e svolgere il ruolo di agente infettivo. Microrganismi patogeni possono essere virus, batteri, prioni, funghi (muffe e lieviti) parassiti.

Sorgente, modificata: ISO 15714:2019

3.16 batterio: Microrganismo unicellulare del regno procarioti con parete batterica esterna composta da peptidoglicani.

Sorgente: ISO 16000-36:2018

3.17 funghi: Organismi eucarioti, unicellulari o pluricellulari, senza clorofilla e con parete esterna.

Sorgente, modificata: IEC/PAS 63086-3-1

3.18 virus: Gruppo di microrganismi con una struttura semplice composta da RNA o DNA e rivestimento esterno proteico specializzati nell'infezione e nella replicazione intracellulare.

Sorgente: IEC/PAS 63086-3-1

3.19 perdite per bypass: Passaggio indesiderato e incontrollato di aria non trattata nell'aria trattata dall'impianto, attraverso i componenti quali sistemi di alloggiamento filtri, filtri e batterie di scambio termico.

Sorgente: UNI EN 13053 (3.14.3)

3.21 diametro equivalente: Diametro di una particella sferica che presenta lo stesso comportamento geometrico, ottico, elettrico o aerodinamico di una particella reale non sferica.

3.20 diametro aerodinamico equivalente: Diametro di una particella sferica, di densità unitaria, dotata dello stesso comportamento aerodinamico (stessa velocità di sedimentazione) della particella in esame in aria calma, nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa.

4 PRINCIPIO

La presente prassi di riferimento si propone di definire il ruolo che i sistemi di filtrazione dell'aria, opportunamente dimensionati, installati e gestiti rivestono nell'assicurare condizioni di salubrità degli ambienti e di tutela della salute degli occupanti.

La prassi di riferimento si completa con:

- Appendice A - Normativa di riferimento per la determinazione dell'efficienza di filtrazione e la classificazione dei filtri;
- Appendice B - Classificazione dei filtri ed efficienza di filtrazione del bioaerosol;
- Appendice C - Elementi filtranti, tipologie ed impieghi;
- Appendice D - Altri dispositivi attivi di disinfezione a supporto della filtrazione dell'aria.

5 CARATTERIZZAZIONE DEI CONTAMINANTI

5.1 Aerosol e bioaerosol

L'aria che tutti i giorni respiriamo contiene normalmente quantità variabili di impurità derivanti da processi naturali e non. Tali impurità sono normalmente definite come contaminanti, i quali possono essere suddivisi in funzione della loro natura fisica e chimica. Per cui si può parlare: di particolato quando il contaminante è solido o liquido; di aeriforme quando è sotto forma di gas o vapore. La miscela di aria e particolato è comunemente chiamata aerosol e, se le sostanze in essa contenute sono composte da agenti microbici, si sente molto spesso parlare di bioaerosol. La componente solida del bioaerosol è

normalmente composta da frammenti vegetali e cellulari, batteri, funghi, virus, parassiti, spore, mentre quella aeriforme è composta da sottoprodotti del metabolismo microbico.

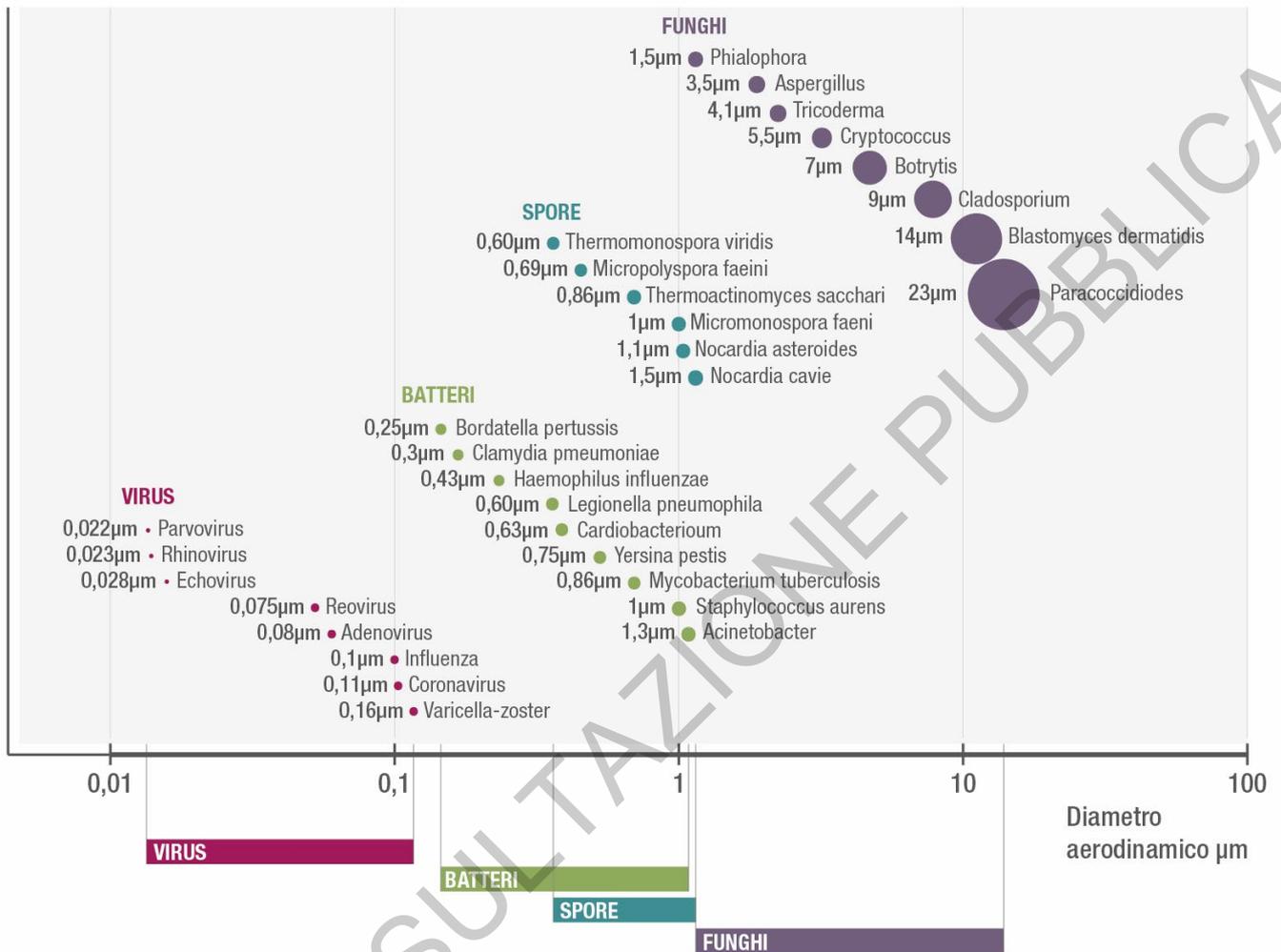
Il bioaerosol presente negli ambienti indoor può provenire da fonti esterne o dalla diffusione e accumulo di materia biologica proveniente dalla presenza di occupanti (uomo, animali, piante), dalla polvere (ottimo ricettacolo per i microrganismi), dalle strutture e dai servizi degli edifici [27]. Infatti, immaginando gli ambienti indoor come luogo principale per lo svolgimento delle attuali attività umane, si intuisce come la maggior parte degli agenti patogeni possa essere emesso parlando, tossendo e starnutendo. Il bioaerosol può anche avere un'origine interna legata al suo insediamento e sviluppo su superfici idonee. Qualsiasi substrato che comprenda fonti di nutrienti (carbonio ed acqua) come per es. cellulosa, lignina, plastica, ecc. potrebbe fungere da substrato di crescita di bioaerosol. Requisiti necessari sono l'umidità e la temperatura. Il bioaerosol cresce sul sottile strato di umidità che si deposita sulle superfici.

I principali agenti biologici che possono essere presenti nel bioaerosol sono:

- I batteri, trasmessi dalle persone e dagli animali ma presenti anche in luoghi con condizioni di temperatura e umidità che ne favoriscono la crescita;
- I virus, trasmessi dalle persone e dagli animali infettati;
- I pollini delle piante, provenienti soprattutto dall'ambiente esterno;
- Funghi e muffe che si formano all'interno dei luoghi confinati per problemi d'umidità o che possono penetrare dagli ambienti esterni;
- Gli acari, considerati tra le principali cause di allergia ed asma poiché, tramite le loro feci, producono dei potenti allergeni facilmente inalabili;
- Gli allergeni degli animali domestici rilasciati principalmente dalla saliva, forfora e urina che, una volta essiccati e frammentati, rimangono sospesi nell'aria. La principale fonte è costituita dagli animali con pelliccia (cani, gatti, roditori, ecc.), ma anche da uccelli, scarafaggi e insetti.

Di solito la trasmissione avviene per via aerea quindi il bioaerosol entra nel corpo attraverso l'inalazione. L'aspetto dimensionale riveste un fattore determinante nella viabilità degli agenti patogeni e della loro capacità di penetrare nell'apparato respiratorio umano. Le dimensioni delle particelle microbiologiche presenti nel bioaerosol (Figura 1) hanno generalmente un diametro aerodinamico (d_a) inferiore a 100 μm , di cui la frazione toracica [43] ha dimensioni inferiori e uguali a 10 μm , mentre quella respirabile [43] ha dimensioni inferiori e uguali a 2,5 μm . Una volta inalati, i bioaerosol sono associati a un'ampia gamma di effetti negativi sulla salute (ad es. malattie infettive, allergie, asma, cancro e tossicità acuta). I patogeni più comuni trasmessi per via aerea sono indicati nel Prospetto 1.

Figura 1 - Dimensioni degli agenti patogeni aero-sospesi [22]



Prospetto 1 - Patogeni respiratori comuni trasmessi per via aerea (Gratton et al., 2010)

Patogeni fungini	Patogeni batterici	Patogeni virali
Aspergillus spp.	Neisseria meningitidis	Rinovirus
	Mycoplasma pneumoniae	Virus influenzali
	Bordetella pertussis	Virus respiratorio sinciziale
	Streptococcus spp.	Coronavirus
	Staphylococcus aureus	Rubeola virus
	Mycobacterium tuberculosis	Varicella Zoster virus
		Norovirus
		Rotavirus

5.2 Comportamento aerodinamico del bioaerosol

Le dimensioni delle particelle virali sono comprese nell'intervallo di 50-200 nm (66-81 nm [4], 50-200 nm [5]) e sono molto più piccole di quelle generate da attività respiratorie. Le attività respiratorie umane come tossire, starnutare, parlare, respirare ecc. (Prospetto 2) generano particelle aerosospese di varie dimensioni [2] da particelle di poco inferiori ad 1 µm fino a oltre 100 µm. Gli studi eseguiti per caratterizzare le dimensioni di questo tipo di particolato dimostrano che la maggior parte delle particelle emesse sono nella frazione submicronica (diametro delle particelle < 1 µm) [3].

Prospetto 2 - Dimensioni delle particelle aerodisperse generate da attività respiratorie umane [2]

Attività	Intervallo dimensionale, diametro aerodinamico (µm) [riferimento bibliografico]
Respiro normale	<0,8 – 2,0 [6]
Parlata	<0,8 – 7,0 [5] e 16 – 125 [7] [8]
Urlo	1 [9]
Tosse	0,6 - 16 [5,6,9,10] e 40 – 125 [8] [12]
Starnuto	7 – 125 [12] [13]

Le particelle una volta emesse sono soggette a differenti fenomeni che ne caratterizzano la loro diffusione, tra cui:

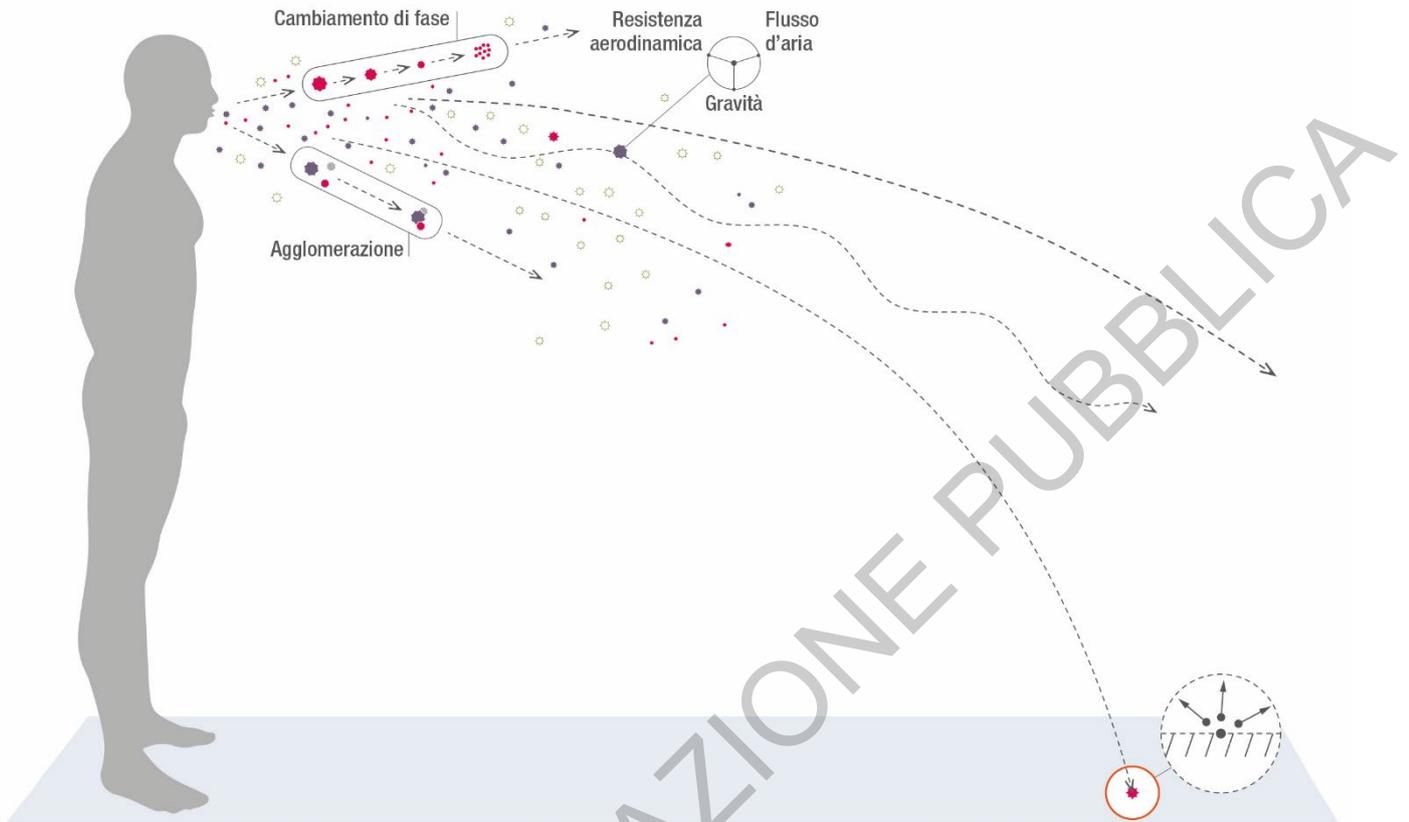
- a. l'inerzia data dalla velocità con cui sono espulse;
- b. la gravità o sedimentazione;
- c. la forza d'attrito con l'aria;
- d. la forza di galleggiamento;
- e. l'evaporazione della componente liquida;
- f. la coagulazione per adesione;
- g. la divisione per splitting;
- h. le condizioni di turbolenza dell'aria nella zona di espulsione.

A seguito dell'interazione degli elementi di cui sopra le caratteristiche dimensionali e dell'aerosol emesso cambiano nello spazio e nel tempo.

La Figura 2 illustra come la turbolenza nell'aria all'interno di un ambiente mescoli e diluisca il flusso esalato da un individuo, trasportando le particelle emesse. Parte di queste particelle tendono a cadere al suolo sotto l'effetto della forza di gravità. Le particelle più piccole sono in grado di percorrere distanze maggiori rispetto alle particelle più grandi rilasciate a causa di tosse o starnuto [15], ma evaporano anche più velocemente [16], riducendo la dimensione e quindi aumentando la possibilità di essere aerosospese. Le particelle più grandi invece potrebbero raggiungere le superfici dalle quali, seccandosi in un secondo momento, potrebbero essere risospese da eventuale turbolenza dell'aria [15]. Per quanto riguarda la sedimentazione, qualsiasi attività che può influenzare il moto delle masse di aria nell'ambiente interno (e.g., ventilazione naturale o meccanica) può cambiare la velocità terminale e quindi la deposizione delle particelle sulle superfici [15] [17].

Quanto descritto sopra può considerarsi valido per qualsiasi agente patogeno emesso dall'uomo. Anche in questo caso esistono studi relativi alla carica virale di particelle emesse da un individuo infetto [3] e misure sperimentali della distribuzione del virus [21], che costituiscono riferimenti validi per una prima valutazione del rischio di contagio.

Figura 2 - Generazione di particelle durante lo starnuto



In conclusione, pensando a dove sono posizionati i filtri negli impianti di climatizzazione, è molto difficile poter caratterizzare le dimensioni di un aerosol ripreso da un ambiente interno. A questa difficoltà si aggiunge anche la stima della reale carica patogena dell'aerosol, che dipende fortemente dal tipo di ambiente e dalle attività in esso svolte. Fornire quindi la caratterizzazione quantitativa e dimensionale di questo tipo di aerosol è complesso e molto spesso legato all'ambiente stesso da valutare, per cui risulta articolato avere delle informazioni generalmente applicabili.

6 FILTRAZIONE DELL'ARIA DA PARTICOLATO

6.1 Principi di filtrazione meccanica

6.1.1 Generalità

La filtrazione costituisce uno strumento indispensabile per contenere la concentrazione di particolato al di sotto di soglie massime ammissibili. Ecco perché i sistemi di filtrazione trovano impiego nella ventilazione e nella climatizzazione dell'aria per applicazioni civili, industriali e negli ambienti a contaminazione controllata (camere bianche, sale operatorie, terapie intensive).

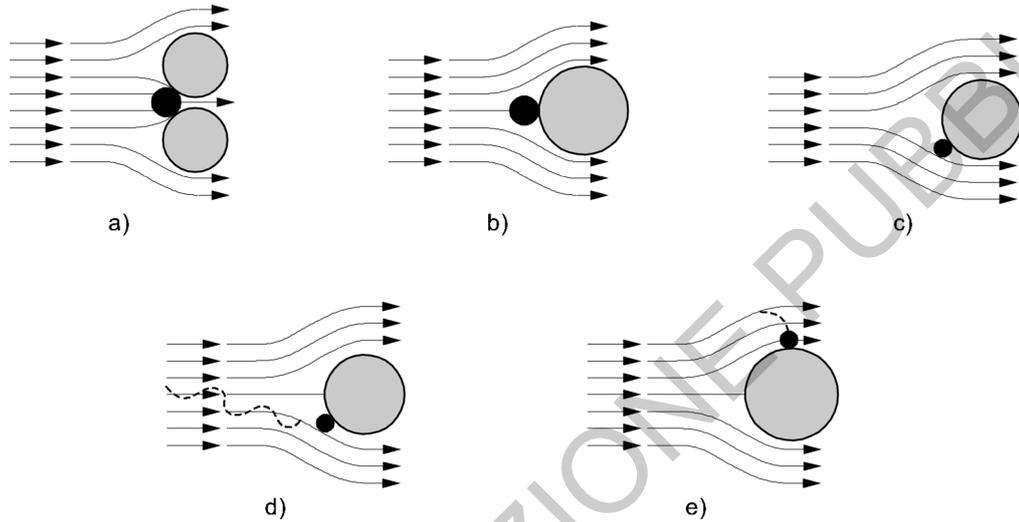
I filtri di tipo meccanico rimuovono il particolato dall'aria, catturandolo e trattenendolo sulle fibre che costituiscono il materiale filtrante. Le fibre che compongono il materiale filtrante possono essere di natura organica (fibre sintetiche) oppure inorganica (fibre e microfibre di vetro).

I meccanismi di cattura alla base del funzionamento di un filtro meccanico, illustrati in Figura 3, sono:

- Effetto setaccio;
- Effetto inerziale;

- Intercettazione diretta;
- Diffusione;
- Attrazione elettrostatica¹.

Figura 3 - Meccanismi di filtrazione meccanica



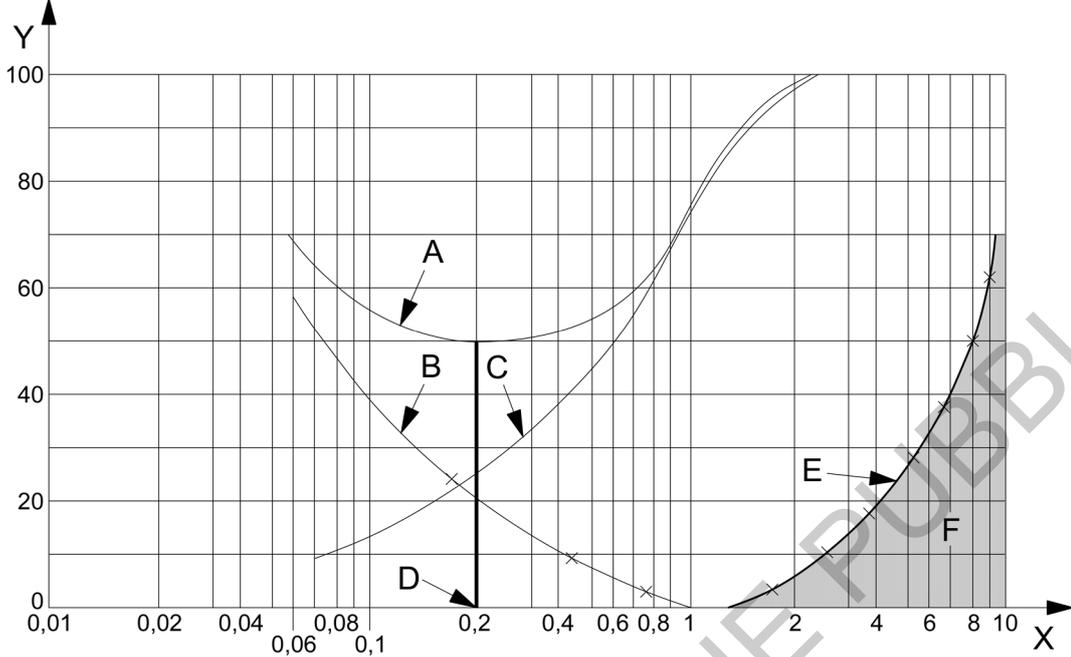
Legenda

- | | | | |
|---|-------------------------|---|--------------------------------------|
| a | effetto setaccio | c | deposito per intercettazione diretta |
| d | deposito per diffusione | e | attrazione elettrostatica |
| b | effetto inerziale | | |

Tali meccanismi spesso coesistono nel medesimo materiale filtrante, con grado di efficacia differente. A seconda della dimensione delle particelle, della densità delle fibre del materiale filtrante e della velocità dell'aria che le trasporta il filtro sarà in grado di fermare il particolato, come illustrato in Figura 4.

¹ Questo fenomeno è maggiormente presente nei filtri di natura organica che sono caricati elettrostaticamente durante il processo di produzione.

Figura 4 – Diagramma di efficienza di filtrazione da particolato di un filtro



Legenda

X	Diametro della particella [μm]	C	Intercettazione
Y	Efficienza [%]	D	MPPS
A	Totale	E	Impatto inerziale
B	Diffusione	F	effetto setaccio

Nella Figura 4 la capacità complessiva di trattenere il particolato (efficienza di filtrazione) in funzione delle dimensioni di quest'ultimo è evidenziata dalla curva A (Totale). Tale curva rappresenta la sommatoria dei contributi dei singoli meccanismi. In particolare, è possibile osservare:

- un'efficienza minima; il diametro della particella in cui è presente tale minimo viene definito come MPPS, most penetrating particle size.
- un valore minimo delle dimensioni delle particelle; tale minimo è dettato dal limite fisico delle dimensioni delle particelle e dalla soglia minima di rilevazione dimensionale da parte dello strumento utilizzato.

6.1.2 Meccanismi della filtrazione meccanica

6.1.2.1 Effetto setaccio

È il principale meccanismo di filtrazione per particolato di grandi dimensioni. Le particelle che vengono trattenute, infatti, sono quelle aventi un diametro maggiore della distanza tra le fibre del materiale filtrante. Questo meccanismo è però poco rilevante ai fini della filtrazione del particolato atmosferico, soprattutto in ambienti urbani, in quanto le particelle aerodisperse sono generalmente di dimensioni inferiori rispetto agli interspazi tra le fibre del materiale filtrante.

6.1.2.2 Effetto inerziale

Quando l'inerzia della singola particella trasportata dall'aria è tale da impedire alla particella stessa di seguire il flusso dell'aria intorno alle fibre del materiale filtrante, questa prosegue lungo la sua traiettoria

originale fino ad impattare contro la fibra e restarle attaccata. L'efficienza è direttamente proporzionale all'inerzia delle particelle (velocità, massa e dimensione) e al diametro delle fibre del materiale filtrante. Solitamente questo meccanismo non ha effetto su particelle di piccola dimensione perché avendo bassa inerzia tendono a seguire le traiettorie delle linee di flusso passando tra le fibre.

6.1.2.3 Intercettazione diretta

Le particelle di dimensione inferiore rispetto a quelle trattenute per effetto inerziale seguono il flusso dell'aria, lambiscono le fibre e vengono trattenute quando ne toccano la loro superficie. Questo meccanismo si realizza quando il centro di gravità della particella si trova ad una distanza inferiore o uguale al suo raggio rispetto alla fibra del filtro. Questo effetto è direttamente proporzionale alla dimensione delle particelle e alla profondità del materiale filtrante; è invece inversamente proporzionale alla distanza tra le fibre e al loro diametro.

6.1.2.4 Diffusione

Le particelle più piccole, con diametro inferiore a 1 μm , sono soggette ai movimenti browniani delle molecole dell'aria, a causa dei quali deviano in maniera del tutto casuale dalle linee di flusso che lambiscono le fibre. Se questa deviazione è abbastanza ampia, le particelle impattano contro la superficie delle fibre e vi restano attaccate. Questo meccanismo è quello più rilevante per le particelle ultrafini, in quanto il suo apporto è inversamente proporzionale alla dimensione delle particelle. Altri fattori che influenzano l'effetto di diffusione sono la velocità dell'aria e la dimensione delle fibre: minori velocità e fibre di diametro minore influiscono positivamente, così come una maggiore densità e quantità di fibre.

6.1.2.5 Attrazione elettrostatica

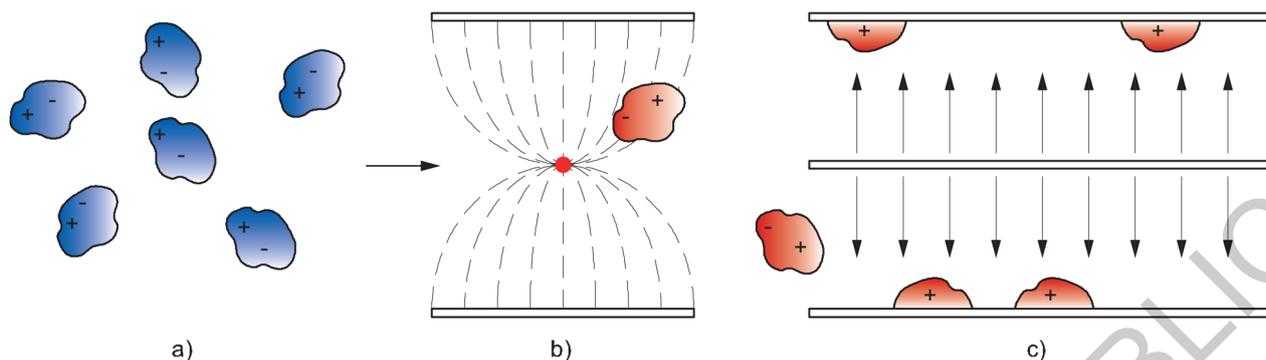
Media filtranti, soprattutto quelli composti da fibre di materiale sintetico, presentano un certo valore di carica elettrostatica derivante sia dalle lavorazioni alle quali sono sottoposti, sia da un processo svolto appositamente per indurre questa carica e aumentare l'efficienza iniziale dell'elemento filtrante. Questo effetto può influenzare notevolmente l'efficienza complessiva di un filtro, ma è molto difficile quantificarne il valore reale.

Nel corso della reale vita operativa, però, molti fattori contribuiscono a degradare, più o meno rapidamente, l'efficienza della carica elettrostatica: temperatura, umidità, deposizione di particolato sulle fibre, riducono gradualmente l'effetto della carica elettrostatica e, di conseguenza, anche l'efficienza complessiva del filtro. A prescindere dal tasso di riduzione della carica elettrostatica durante la vita operativa del filtro, altri fattori che influenzano l'incidenza di questo effetto sono la velocità dell'aria, la dimensione delle particelle, il diametro delle fibre e l'eventuale carica dei contaminanti presenti nell'aria. L'effetto elettrostatico è inversamente proporzionale alla velocità dell'aria, alla dimensione del particolato e al diametro delle fibre del materiale filtrante, oltre a essere più accentuato su particelle aventi carica elettrostatica di segno opposto rispetto a quello del materiale filtrante.

6.2 Il principio dei filtri elettrostatici attivi a piastra

Un filtro elettrostatico attivo a piastre è in grado di trattenere le particelle in sospensione nel flusso d'aria che lo attraversa, grazie all'azione di uno o più campi elettrostatici in serie tra loro, che si vengono a formare tra elettrodi metallici o di altro materiale elettroconduttivo, per mezzo di una o più differenze di potenziale di valore elevato, applicate tramite un generatore di alta tensione (UNI 11254).

Figura 5 – Principio di funzionamento dei filtri elettrostatici attivi a piastra



Legenda

a aria inquinata da polveri

b prima fase di ionizzazione

c seconda fase di captazione

Il particolato contenuto nell'aria che transita nel filtro è sottoposto, in una prima fase, all'azione del campo elettrico di ionizzazione (polarizzazione), generato da un elettrodo alimentato ad alta tensione e bassa intensità, posto tra due piastre collegate a massa. In questo campo, le cariche elettriche, migrando dall'elettrodo alle superfici a massa, urtano le particelle veicolate dall'aria trasferendo a loro la carica stessa.

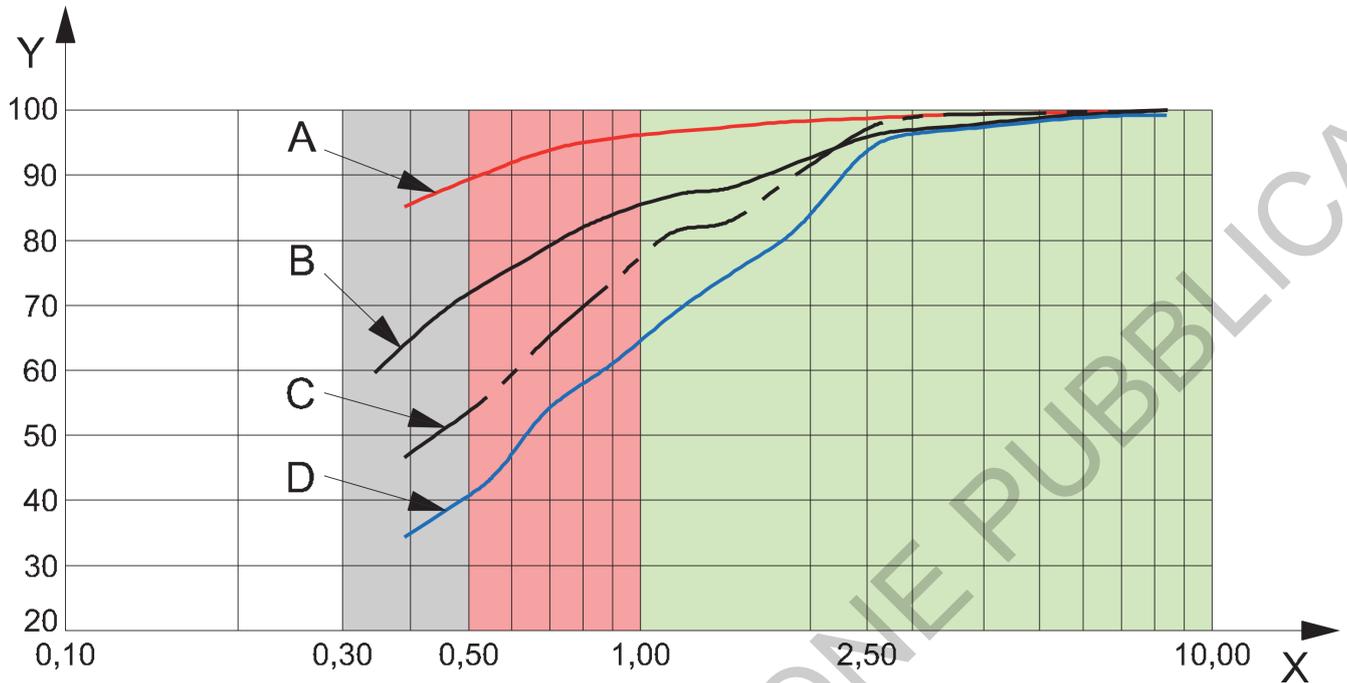
Nella seconda fase (filtro bistadio), le particelle contenute nell'aria ora caricate, vengono sottoposte all'azione di un intenso campo elettrico che per l'azione combinata delle forze d'attrazione e di repulsione le fa deviare verso le lamine a massa dove vengono trattenute per coesione molecolare.

7 FILTRAZIONE DEL BIOAEROSOL

Indipendentemente dalla viabilità dell'aerosol, i filtri trattengono il particolato in funzione delle caratteristiche fluidodinamiche e dimensionali degli elementi in gioco. Per cui, per valutare l'idoneità degli elementi filtranti nel rimuovere il bioaerosol è necessario valutare la curva di efficienza del filtro in funzione del diametro delle particelle.

I filtri impiegati nella ventilazione generale, per poter essere classificati, sono testati per la misura di efficienza attraverso l'impiego di aerosol sintetico con diametro ottico compreso tra 0,3 e 10 μm (vedere Appendice C). I filtri dedicati al controllo della contaminazione in applicazioni specifiche come, per esempio, nei settori farmaceutico ed ospedaliero, sono classificati attraverso la misura dell'efficienza della particella MPPS. I dati delle prove sono riassunti in rapporti di prova, i quali contengono anche i valori di efficienza in funzione di un intervallo dimensionale delle particelle. Con buona approssimazione, questa curva di efficienza può essere impiegata per stimare l'effetto dei filtri nella riduzione del contaminante aerosospeso presente nell'aria trattata dall'impianto aeraulico.

Figura 6 - Curve caratteristiche di efficienza di 4 filtri



Legenda

X diametro ottico della particella [μm]

Y efficienza [%]

A filtro ePM₁ 85% - ePM_{2,5} 90% - ePM₁₀ 95% (ex F9 secondo UNI EN 779:2012)

B filtro ePM₁ 70% - ePM_{2,5} 75% - ePM₁₀ 90% (ex F8 secondo UNI EN 779:2012)

C filtro ePM₁ 55% - ePM_{2,5} 65% - ePM₁₀ 85% (ex F7 secondo UNI EN 779:2012)

D filtro ePM₁ 45% - ePM_{2,5} 55% - ePM₁₀ 80% (ex M6 secondo UNI EN 779:2012)

Nella Figura 6 sono rappresentate quattro curve di efficienza misurate in accordo alla UNI EN ISO 16890-1. Si può osservare come siano ben evidenti le differenti capacità di captazione del particolato con dimensioni inferiori a 2,5 μm . Poiché la UNI EN ISO 16890-1 prevede un limite inferiore di misura pari a 0,3 μm , i risultati delle prove effettuate in base a tale norma non consentono di individuare la particella MPPS per questa tipologia di elementi. E' comunque possibile effettuare misurazioni per valori inferiori a 0,3 μm . Nella Figura 7 è rappresentata la curva di efficienza di un filtro ePM₁ 85% nell'intervallo dimensionale 0,096-10 μm . Si osserva come in questo caso sia ben visibile il minimo della curva che si posiziona per particelle aventi diametri ottici compresi tra 0,1 μm e 0,2 μm , mentre per particelle di diametro inferiore l'efficienza aumenta. Tale fenomeno è comune a tutti i filtri meccanici, compresi i filtri delle classi ePM₁, ePM_{2,5} ed ePM₁₀ secondo UNI EN ISO 16890-1.

C filtro E10

Nell'analisi del rischio d'infezione all'interno degli edifici [20] può essere d'aiuto il Prospetto 3, in cui sono indicati i valori tipici di efficienza per intervallo dimensionale di una serie di filtri. I dati inseriti si riferiscono alle curve di efficienza delle Figura 6 e Figura 8. Nel Prospetto 3 si è ritenuto utile aggiungere i valori tipici di un filtro HEPA H13 per avere un riscontro diretto con un filtro specificatamente pensato per le applicazioni dedicate al controllo della contaminazione da particolato microbiologico.

Prospetto 3 – Efficienza dei filtri di Figura 6 e Figura 8 nei diversi intervalli dimensionali delle particelle

Efficienze di filtrazione tipiche (penetrazione)						
Classe dei filtri	Intervallo dimensionale delle particelle (diametro ottico, μm)					
	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,5	0,5-1,0	1,0-2,5	2,5-10
H13	$\geq 99,95\%$ ($\leq 0,05\%$)	99,97% ÷ 99,99% (0,03% ÷ 0,01%)	99,97% ÷ 100% (0,03% ÷ 0,0%)	100% (0,0%)	100% (0,0%)	100% (0,0%)
E12	$\geq 99,5\%$ ($\leq 0,5\%$)	99,5% ÷ 99,7% (0,5% ÷ 0,3%)	99,7% ÷ 99,9% (0,3% ÷ 0,1%)	99,9% ÷ 100% (0,1% ÷ 0%)	100% (0,0%)	100% (0,0%)
E11	$\geq 95,0\%$ ($\leq 5\%$)	95% ÷ 98% (5% ÷ 2%)	98% ÷ 99% (2% ÷ 1%)	99% ÷ 100% (1% ÷ 0%)	100% (0,0%)	100% (0,0%)
E10	$\geq 85,0\%$ ($\leq 15\%$)	85% ÷ 90% (5% ÷ 10%)	90% ÷ 95% (10% ÷ 5%)	95% ÷ 98% (5% ÷ 2%)	98% ÷ 100% (2% ÷ 0%)	100% (0,0%)
ePM ₁ 85%	n.m.	n.m.	85% ÷ 90% (15% ÷ 10%)	90% ÷ 95% (10% ÷ 5%)	95% ÷ 100% (5% ÷ 0%)	$\geq 99\%$ ($\leq 5\%$)
ePM ₁ 70%	n.m.	n.m.	60% ÷ 70% (40% ÷ 30%)	70% ÷ 85% (30% ÷ 15%)	85% ÷ 100% (15% ÷ 0%)	$\geq 98\%$ ($\leq 5\%$)
ePM ₁ 55%	n.m.	n.m.	40% ÷ 50% (60% ÷ 50%)	50% ÷ 75% (50% ÷ 25%)	75% ÷ 95% (25% ÷ 5%)	$\geq 95\%$ ($\leq 5\%$)
ePM _{2,5} 55%	n.m.	n.m.	30% ÷ 40% (70% ÷ 60%)	40% ÷ 60% (60% ÷ 40%)	60% ÷ 90% (40% ÷ 10%)	$\geq 90\%$ ($\leq 10\%$)

In teoria, avendo a disposizione le curve caratteristiche di efficienza degli elementi filtranti e la distribuzione dimensionale dell'aerosol, sarebbe possibile calcolare l'effettiva capacità di rimozione del bioaerosol per differenti dimensioni. In questo modo sarebbe possibile stimare il rischio di contaminazione associato alla concentrazione di microrganismi patogeni aerotrasportati presenti in un ambiente in funzione della loro dimensione e carica virale [20]. Purtroppo, tali informazioni non sono sempre note, per cui è necessario adottare un metodo più semplice per poter generalizzare e semplificare il legame tra dimensioni dell'aerosol ed efficienza del filtro. Tale semplificazione si può basare sulle seguenti considerazioni:

- L'aerosol prodotto mediante processi di espirazione umana ha una distribuzione tri-modale in cui il picco delle particelle più piccole è compreso tra 0,7 e 1 μm [26] e l'intervallo dimensionale delle distribuzioni normali è compreso tra 0,1 e 10 μm . Vi è un'ulteriore distribuzione normale

con moda di circa 100 μm e intervallo della distribuzione compreso tra 10 μm e 1000 μm . Una frazione notevole di queste con diametro superiore a 50 μm può essere esclusa poiché sedimentano velocemente senza poter cambiare dimensione, così come una parte delle particelle superiori a 10 μm perché non respirabili. Come indicato al Punto 5, fornire la caratterizzazione quantitativa e dimensionale di questo tipo di aerosol è complesso e molto spesso legato all'ambiente stesso da valutare, per cui risulta impossibile avere delle informazioni generalmente applicabili.

- Le maschere facciali coperte dalla normativa sui DPI (UNI EN 149, UNI EN 13274-7) sono scelte per offrire un elemento di protezione nei confronti del bioaerosol in ambito professionale e non. L'efficienza di tali dispositivi è misurata mediante l'uso di un aerosol di prova che ha un diametro medio in numero compreso tra 0,29 μm e 0,45 μm simile a quello impiegato per testare molti dei materiali filtranti utilizzati per la costruzione di filtri per la ventilazione generale (UNI EN ISO 16890-1) e per applicazioni speciali (UNI EN 1822-1).
- Quando si effettuano dei campionamenti in ambienti dove è necessario ridurre il più possibile il rischio di contaminazione microbiologica, le particelle che sono monitorate hanno diametri \geq di 0,3 μm , 0,5 μm e 5 μm . Tale aspetto è soprattutto evidente quando è necessario monitorare e classificare gli ambienti in ambito ospedaliero e farmaceutico in accordo alla UNI EN ISO 14644-1.

Per valutare la rimozione del bioaerosol da parte degli elementi filtranti impiegati nella ventilazione generale si assume, in un'ottica conservativa, un intervallo dimensionale compreso tra 0,3 e 0,5 μm . Tale intervallo dimensionale è rappresentativo del bioaerosol, generato dagli occupanti, in grado di rimanere sospeso nell'ambiente e nell'impianto per parecchie ore.

Da quanto sopra esposto, per ottenere un abbattimento significativo del bioaerosol è necessario l'impiego di un sistema di filtrazione che abbia una efficienza minima ePM₁ 85% [20]. Tale affermazione deve poi essere valutata in virtù di parametri quali:

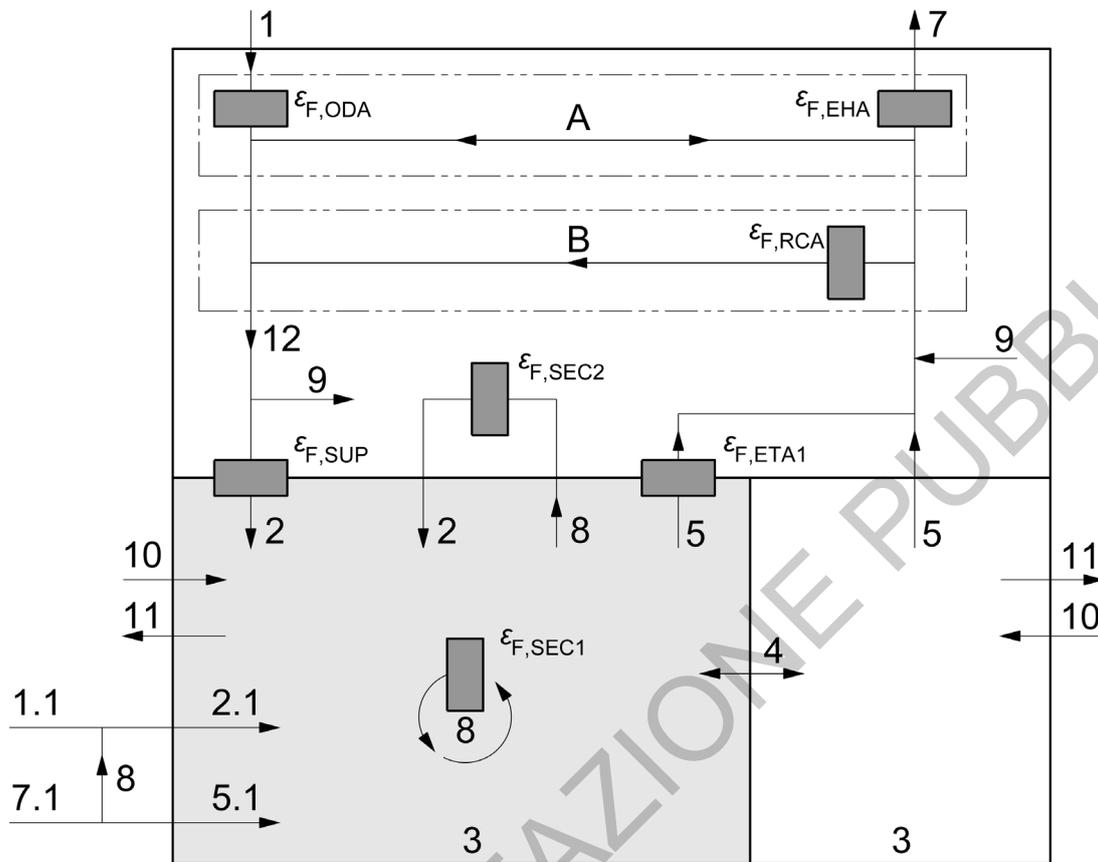
1. L'effettiva portata d'aria utile al controllo della concentrazione di contaminante in prossimità degli occupanti;
2. La presenza di perdite per bypass attraverso il filtro o i sistemi di alloggiamento.

8 RUOLO DELLA FILTRAZIONE NELL'IMPIANTO

8.1 Aspetti generali

I sistemi di filtrazione trovano posto in diverse posizioni nell'impianto aeraulico. A titolo esemplificativo è possibile fare riferimento allo schema di Figura 9, dove sono indicate le possibili posizioni degli elementi filtranti nell'impianto.

Figura 9 – Flussi d’aria e localizzazione degli elementi filtranti



Legenda

1	Aria esterna (ODA)	9	Aria di trafilamento (LEA)
1.1	Aria esterna per singolo locale (SRO)	10	Aria infiltrata (INF)
2	Aria immessa (SUP)	11	Aria Esfiltrata (EXF)
2.1	Aria immessa per singolo locale (SRS)	12	Aria miscelata (MIA)
3	Aria interna (IDA)	A	Recuperatore di calore
4	Aria trasferita (TRA)	B	Camera di miscelazione
5	Aria estratta (ETA)	$\varepsilon_{F,ODA}$	Efficienza sist. Filtrante aria ODA
5.1	Aria estratta per singolo locale (SET)	$\varepsilon_{F,EHA}$	Efficienza sist. Filtrante aria EHA
6.1	Aria ricircolata (RCA)	$\varepsilon_{F,RCA}$	Efficienza sist. Filtrante aria RCA
6.2	Aria di trafilamento dal recuperatore di calore (HRL)	$\varepsilon_{F,ETA1}$	Efficienza sist. Filtrante aria ETA1
7	Aria espulsa (EHA)	$\varepsilon_{F,SUP}$	Efficienza sist. Filtrante aria SUP
7.1	Aria espulsa per singolo locale (SEH)	$\varepsilon_{F,SEC1}$	Efficienza sist. Filtrante aria SEC1
8	Aria secondaria (SEC)	$\varepsilon_{F,SEC2}$	Efficienza sist. Filtrante aria SEC2

Come valore di efficienza $\varepsilon_{F,XXX}$ si fa riferimento all'efficienza di abbattimento del contaminante di riferimento considerata in fase di studio. Per gli scopi della presente prassi il riferimento $\varepsilon_{F,XXX}$ è l'efficienza del sistema di filtrazione nei confronti del bioaerosol (vedere il Punto 7). Dal punto di vista

pratico, in Appendice B è indicato un metodo di correlazione tra l'efficienza dei filtri ePM, misurata in accordo alla UNI EN ISO 16890 e l'efficienza di filtrazione di bioaerosol compresa nell'intervallo dimensionale 0,3 µm - 0,5 µm. Il prospetto B.2 riporta a titolo esemplificativo i valori per alcuni filtri classificati secondo ePM.

Nei punti seguenti sono elencati i principali fattori da considerare per valutare l'effetto dei sistemi di filtrazione nel controllo del bioaerosol.

8.1.1 Portate d'aria: esterna (ODA), di ricircolo (RCA), secondaria (SEC).

L'aria esterna (ODA) viene normalmente considerata priva di bioaerosol pericoloso; nella realtà essa può contenere diversi agenti contaminanti che devono comunque essere rimossi sia per preservare gli elementi d'impianto sia per la sicurezza degli occupanti.

Se l'impianto impiega l'aria di ricircolo (RCA), questa deve subire un processo di abbattimento di contaminanti in grado di evitare l'immissione degli stessi all'interno degli ambienti. Per definire la quantità e il grado di filtrazione da impiegare è necessario riferirsi alla destinazione d'uso e alla valutazione dei rischi. Se non vi sono indicazioni specifiche sul livello di filtrazione dell'aria di ricircolo, si ritiene necessario filtrarla al pari di quella esterna.

Per l'aria secondaria (SEC) si ritiene ragionevole applicare le medesime indicazioni dell'aria di ricircolo.

Ipotizzando che l'impianto sia in grado d'incrementare la quantità di aria pulita, tale aumento offre un effetto positivo nel controllo dei contaminanti all'interno degli ambienti, ma devono comunque essere considerati i seguenti aspetti:

- capacità dell'impianto di sopperire a carichi termoigrometrici maggiori dovuti all'aria esterna (ODA);
- potenza disponibile per la ventilazione;
- bilanciamento delle sovrappressioni;
- rumorosità.

8.1.2 Tasso di occupazione, efficienza di ventilazione e funzionamento dell'impianto

La quantità di persone, il tipo di attività, il tempo di permanenza, la contaminazione superficiale dei componenti dell'impianto e l'impiego o meno di DPI come le mascherine, influiscono sulla presenza diretta di bioaerosol all'interno dell'ambiente.

La capacità di rimuovere il contaminante diffuso all'interno degli ambienti mediante opportune strategie di diffusione ed estrazione dell'aria è un fattore chiave per la limitazione del bioaerosol.

La ventilazione dei locali prima e dopo l'occupazione consente di ridurre il rischio associato alla contaminazione.

8.1.3 Bypass dei sistemi di filtrazione

Molto spesso viene sottostimata l'importanza degli elementi di tenuta dei filtri. Il sistema di filtrazione risulta efficace se tutta l'aria attraversa l'elemento filtrante e sono ridotti al minimo i bypass dovuti alla struttura di supporto e alla battuta del filtro su di essa.

8.2 Calcolo dell'efficienza di filtrazione ODA

Ipotizzando che la distribuzione dimensionale dell'aerosol da trattare sia simile a quella impiegata per la valutazione della classe ePM in accordo alla UNI EN ISO 16890, l'efficienza di filtrazione dell'aria esterna (ODA), è calcolata con la seguente formula:

$$\text{Efficienza richiesta } ePM_x = 100 \cdot \left(1 - \frac{PM_x \text{ concentrazione a valle}}{PM_x \text{ concentrazione a monte}} \right) \quad (1)$$

Dove:

ePM_x Efficienza richiesta	efficienza richiesta per la rimozione di PM_x , X (PM_1 , $PM_{2,5}$ o PM_{10}) [%]
PM_x concentrazione a valle	concentrazione richiesta a valle del sistema di filtrazione, espressa in massa di particolato X (PM_1 , $PM_{2,5}$ o PM_{10}) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
PM_x concentrazione a monte	concentrazione a monte del sistema di filtrazione, espressa in massa di particolato X (PM_1 , $PM_{2,5}$ o PM_{10}) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

La concentrazione a monte, PM_x , rappresenta la concentrazione di PM_x presente nell'aria ODA impiegata nel luogo d'installazione dell'impianto. Tali valori sono normalmente pubblicati dalle ARPA regionali su base media giornaliera, mensile o annuale in funzione della tipologia di territorio analizzata. La scelta dell'intervallo temporale su cui basare il calcolo dell'efficienza deve essere ben esplicitata e giustificata.

La concentrazione a valle, PM_x , viene scelta in funzione del livello di qualità dell'aria necessaria per il tipo di applicazione. Solitamente è possibile fare riferimento alle classi di qualità dell'aria SUP. Il livello di SUP è assegnato in funzione della frazione della concentrazione limite presa come riferimento, che salvo indicazioni di legge è possibile riferirsi a quanto indicato dal WHO.

Per maggiori dettagli relativi alle classi ODA, SUP e ai limiti dei contaminanti è possibile fare riferimento alla UNI EN 16798-3 e al UNI CEN/TR 16798-4.

L'efficienza ePM_x complessivamente necessaria può essere raggiunta mediante il posizionamento in serie di più sistemi di filtrazione. L'efficienza complessiva ($ePM_{x,comp}$), è calcolata con la seguente formula:

$$ePM_{x,comp} = 100 \cdot \left(1 - \left(\left(1 - \frac{ePM_{x,s1}}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{ePM_{x,s2}}{100} \right) \cdot \dots \cdot \left(1 - \frac{ePM_{x,sn+1}}{100} \right) \right) \right) \quad (2)$$

dove:

$ePM_{x,comp}$ efficienza ePM_x complessiva degli n stadi di filtrazione

$ePM_{x,sn}$ efficienza ePM_x del singolo stadio di filtrazione

E deve valere che:

$$ePM_{x,comp} \geq \text{Efficienza richiesta } ePM_x$$

I valori ammissibili delle perdite per bypass delle unità di trattamento aria sono indicati nella UNI EN 1886. Valori superiori di perdita devono essere inclusi nel calcolo dell'efficienza complessiva del sistema. Le perdite sono solitamente localizzate nel sistema di alloggiamento degli elementi filtranti o causate da un'installazione non accurata.

8.3 Calcolo della portata d'aria filtrata efficace nell'aria secondaria e di ricircolo

La portata d'aria filtrata efficace, $PAFE$, indica la capacità di eliminare il bioaerosol presente nell'aria di ricircolo e secondaria.

La valutazione del $PAFE$ è effettuata assumendo che non vi sia bioaerosol patogeno di riferimento nell'ODA e che il flusso d'aria sia espresso come portata volumetrica e non come numero di ricambi d'aria.

Con riferimento allo schema d'impianto indicato nella figura 9, la portata d'aria filtrata efficace $PAFE$ per l'aria di ricircolo è calcolata come:

$$PAFE_{RCA} = [q_{RCA} \times \varepsilon_{F,RCA}] \times K_s \quad [l/s] \quad (3)$$

La portata d'aria filtrata efficace $PAFE$ per l'aria secondaria è calcolata come:

$$PAFE_{SEC} = [q_{SEC} \times \varepsilon_{F,SEC}] \times K_s \quad [l/s] \quad (4)$$

dove:

q_{SEC} portata d'aria secondaria l/s

q_{RCA} portata d'aria di ricircolo in l/s

q_{RCA} e q_{SEC} sono definite nella UNI EN 16798-1.

K_s fattore di sicurezza che considera i seguenti effetti:

- non uniformità di concentrazione del contaminante nel tempo;
- diffusione dell'aria e del bioaerosol nell'ambiente;
- perdite per bypass;
- condizioni non stazionarie del fenomeno.

In assenza di ulteriori indicazioni del progettista si assume un fattore convenzionale pari a 0,8.

L'efficienza di filtrazione complessiva di un sistema composto da più stadi disposti in serie, $\varepsilon_{F,XXX}$ è definita dal prodotto di ogni singolo stadio come nella formula seguente:

$$\varepsilon_{F,XXX} = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - \varepsilon_{XXX,i}) \right] \quad (5)$$

Dove XXX per $\varepsilon_{F,XXX}$ fa riferimento all'effetto complessivo di tutti i filtri posti in serie.

In riferimento alla filtrazione dell'aria secondaria (SEC) e di ricircolo (REC), è possibile definire:

$$\varepsilon_{F,SEC} = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - \varepsilon_{SEC,i}) \right] \quad (6)$$

$$\varepsilon_{F,RCA} = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - \varepsilon_{RCA,i}) \cdot (1 - \varepsilon_{ETA,i}) \cdot (1 - \varepsilon_{SUP,i}) \right] \quad (7)$$

L'efficienza così calcolata si riferisce alla dimensione d'interesse del contaminante; tale dimensione di riferimento deve essere la stessa per ogni elemento filtrante valutato nel calcolo dell'efficienza complessiva.

Nel caso di più sistemi di filtrazione funzionanti in parallelo nello stesso ambiente, il valore globale della portata d'aria filtrata effettiva $PAFE$ può essere calcolato come:

$$PAFE_{SEC} = \sum_{i=1}^n PAFE_{SEC,i} \quad (8)$$

8.4 UTA, filtrazione nell'unità di trattamento aria, requisiti per evitare bypass di aria non trattata e valutazione per l'incremento dell'efficienza di filtrazione.

8.4.1 Generalità sui sistemi di alloggiamento

Gli elementi filtranti sono installati all'interno delle unità di trattamento aria mediante telai componibili o in pezzo unico. La loro funzione è quella di creare una struttura solida per il supporto degli elementi filtranti. Tale struttura deve essere composta al fine di garantire la miglior tenuta possibile al filtro evitando che vi siano dei by-pass di aria non trattata verso la zona di monte del sistema. La tenuta viene effettuata mediante:

- sigillatura di tutti i componenti del telaio;
- sigillatura dei telai alle pareti interne della macchina;
- saldatura dei componenti metallici.

Il livello di tenuta della sezione di filtrazione nelle UTA per la ventilazione generale è definito nella UNI EN 13053 e nella UNI EN 1886; va però osservato che tali limiti sono da considerarsi come livelli massimi ammissibili.

Per le zone a valle dei sistemi di filtrazione che risultano in depressione rispetto l'esterno è necessario garantire un livello di tenuta pari a quello del telaio di supporto.

Per i sistemi di supporto/contenimento di elementi filtranti con efficienza $\geq H13$ è necessario verificare la tenuta in accordo a quanto indicato nella ISO 14644-3. Solitamente questi sistemi sono composti da tralicci metallici saldati in continuo e a tenuta in prossimità delle giunzioni con la macchina.

La tenuta all'aria tra il filtro e la struttura di supporto è garantita dalle guarnizioni, le quali devono poggiare su superfici planari e regolari. La guarnizione solitamente è posizionata sul telaio per efficienze di filtrazione fino a $ePM_{10} 95\%$ è doveroso però suggerire che per l'ultimo stadio di filtrazione la guarnizione debba essere installata sul filtro, ciò per poterla sostituire ogni qual volta venga sostituito il filtro. Per le sezioni dotate di efficienza di filtrazione $\geq E10$ la guarnizione è posizionata sul filtro.

Tutti gli elementi di fissaggio degli elementi filtranti devono agire in modo tale da garantire una pressione uniforme sul perimetro di battuta senza risentire della pressione statica dell'aria durante il funzionamento.

Le sezioni di filtrazione devono essere dotate di strumentazione o prese di pressione per la verifica periodica della pressione differenziale a cavallo della stessa. In funzione della criticità dell'applicazione è necessario prevedere dei punti di prelievo di campioni d'aria per la verifica di efficienza e integrità del sistema in accordo alla UNI EN ISO 29462.

8.4.2 Incremento del livello di filtrazione

Per poter migliorare il livello di efficienza di filtrazione dell'aria in un impianto esistente è possibile incrementare:

- l'efficienza degli stadi di filtrazione presenti;
- gli stadi di filtrazione.

Le operazioni d'incremento dell'efficienza e del numero degli stadi devono comunque considerare la prevalenza massima del sistema di ventilazione e gli intervalli di manutenzione. Normalmente a parità di portata e tipologia di filtro, l'incremento di efficienza comporta l'incremento della perdita di carico iniziale in modo proporzionale all'incremento di efficienza. Ciò comporterebbe l'incremento di potenza iniziale da erogare e a parità di pressione differenziale massima la riduzione delle tempistiche di sostituzione. Per evitare tali problematiche è possibile:

- selezionare elementi filtranti con maggiore superficie filtrante, sistemi all'intero delle UTA;

- aumentare il numero di elementi filtranti al fine di avere una portata unitaria inferiore a quella nominale, sistema esterno all'UTA.

9 INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE DEGLI ELEMENTI FILTRANTI

9.1 Generalità

Gli impianti di climatizzazione e ventilazione non assolvono solo a funzioni legate al mantenere un determinato benessere termico-ambientale, ma anche a garantire una qualità dell'aria interna in linea con le disposizioni legislative di salubrità a tutela degli occupanti.

È frequente il caso in cui i problemi di manutenzione derivino da errori progettuali e diviene dunque molto problematico, se non addirittura impossibile, intervenire sui sistemi aeraulici già installati. Per questi motivi, ai fini di una buona manutenzione, occorre progettare, costruire ed installare i sistemi aeraulici tenendo sempre presenti le esigenze manutentive.

Negli impianti più critici, i sistemi di filtrazione sono fondamentali non solo per lo svolgimento di processi industriali specifici come nella farmaceutica delle biotecnologie e dell'elettronica, ma anche per poter svolgere attività nel settore ospedaliero dove la filtrazione trova ampio utilizzo nei blocchi operatori, nelle degenze speciali e nei laboratori. Ne consegue che l'elemento filtrante unito al suo sistema e integrato in qualsiasi impianto aeraulico è un elemento indispensabile e di sicurezza. Come tale è necessario che questo sia installato, mantenuto e sostituito al fine di garantire l'operatività e la sicurezza dell'impianto, evitando in qualsiasi modo che lo stesso filtro possa diventare un elemento di rischio. Il contaminante trattenuto dal filtro, comunemente definito "sporco", non deve in alcun modo essere fonte di contaminazione all'interno dell'impianto.

Gli impianti devono essere mantenuti igienicamente salubri a tutela degli occupanti in accordo alle specifiche indicate nei manuali di uso e manutenzione. Alle informazioni presenti in questi documenti devono poi essere associate le prescrizioni fornite da documenti specifici come le procedure operative e le linee guida riportati negli accordi della Conferenza permanente per i rapporti tra lo stato le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano e le indicazioni contenute nelle norme tecniche.

Per gli impianti di cui si sospetta la possibile contaminazione da bioaerosol patogeno non è necessario sospendere la manutenzione ordinaria, compresa anche la sostituzione dei filtri, ma devono essere adottate le opportune precauzioni di sicurezza anche ai fini igienici. Gli intervalli di sostituzione possono essere valutati anche in funzione delle perdite di carico del filtro utilizzato e dalla tipologia e dalla quantità del materiale trattenuto valutato con apposite e regolari ispezioni.

L'ISS definisce la probabilità di contaminazione dei componenti d'impianto; nel caso degli elementi filtranti è necessario valutare la loro posizione all'interno del sistema. La distinzione si basa essenzialmente sulla probabilità che il filtro abbia elaborato aria potenzialmente contaminata per cui se il filtro avesse elaborato esclusivamente aria esterna, il rischio associato alla contaminazione sarebbe basso, mentre aumenterebbe per i filtri che elaborano aria locale o ripresa dai locali che poi viene ricircolata ed espulsa.

In linea generale, è necessario pianificare le sostituzioni dei filtri che trattano aria esterna per garantire la quantità prevista, soprattutto se la quota parte di aria di ricircolo sia stata esclusa. In sostanza per tutti i filtri si deve porre l'attenzione al valore di perdita di carico affinché siano mantenute le massime portate d'aria utili a diluire il contaminante generato negli ambienti interni.

9.2 Procedura d'installazione e sostituzione

I filtri dell'aria con media filtrante poroso utilizzati negli impianti devono essere sostituiti e mai lavati e riutilizzati. Fanno eccezione a questo i filtri elettrostatici attivi a piastra, progettati e costruiti per questo scopo, ma che vanno regolarmente e correttamente lavati e disinfettati. I tempi per procedere alla loro sostituzione/lavaggio variano a seconda della tipologia d'impiego, agli inquinanti presenti a monte, alle prescrizioni e modalità d'uso consigliate dal produttore.

La manutenzione dei filtri con media meccanico, fatta principalmente con la loro sostituzione e smaltimento, deve essere effettuata da personale formato e qualificato a questo scopo.

Si possono indicare per fasi, le seguenti operazioni:

- A. Acquisizione di ogni ed eventuale documentazione riferita alla gestione manutentiva dell'impianto che comprenda l'installazione e le caratteristiche delle sezioni filtranti dell'impianto in analisi;
- B. Pianificazione dell'attività di verifica dello stato di fatto e dell'efficienza degli apparati filtranti presenti;
- C. Dotazione di idonei DPI al personale operativo e tecnico, con elementi minimi che non possono escludersi, quali:
 - Scarpe antiscivolo;
 - Tuta di idonea protezione in Tyvek;
 - Protezione delle vie respiratorie con idonei dispositivi filtranti, facciali o semimaschere;
 - Guanti idonei per il rischio meccanico e biologico;
 - Occhiali per la protezione degli occhi .
- D. Misure di contenimento del sito da ispezionare nel caso fosse necessario, tramite copertura con teli in polietilene della zona circostante onde evitare fenomeni di contaminazione non voluta;
- E. Spegnimento di ogni dispositivo di movimentazione dell'aria interessato e apertura dei vani alloggiamento degli apparati filtranti;
- F. Disinfezione attraverso la nebulizzazione delle superfici interessate con soluzione disinfettante;
- G. Asportazione dagli alloggiamenti, dei singoli apparati filtranti, e collocazione in doppio contenitore in materiale plastico con chiusura dei contenitori per il seguente processo di smaltimento;
- H. Pulizia superficiale di residui di particolato presente sui telai di alloggiamento degli apparati filtranti, attraverso aspiratori dotati di filtro assoluti;
- I. Disinfezione dei telai di alloggiamento ripuliti;
- J. Collocazione degli apparati filtranti nuovi, in sostituzione di quelli esausti;
- K. Chiusura dei vani di accesso, e verifica della tenuta delle aperture del vano ospitante gli apparati filtranti;
- L. Rimozione degli eventuali teli di protezione della zona di intervento, collocazione in doppio contenitore in materiale plastico e chiusura per seguente processo di smaltimento;
- M. Compilazione delle opportune schede di manutenzione della macchina indicando data, marca e modelli dei filtri installati e se possibile rilevare la pressione differenziale del filtro pulito.

APPENDICE A (informativa) - NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA DETERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA DI FILTRAZIONE E LA CLASSIFICAZIONE DEI FILTRI

A.1 FILTRI PER VENTILAZIONE GENERALE

Nel 2016 è entrata in vigore la norma UNI EN ISO 16890 per i filtri per ventilazione generale, che sostituisce in Europa la UNI EN 779:2012, ritirata a metà 2018. Si tratta di uno standard internazionale, destinato a fornire un metodo di prova e classificazione comune sia ai Paesi del vecchio continente che a quelli d'oltreoceano anche se negli U.S.A. la ANSI/ASHRAE 52.2-2012 è tuttora in vigore.

La UNI EN 779, nonostante gli ultimi aggiornamenti della versione 2012, portava l'utente a sovrastimare l'efficacia del filtro, fondamentalmente a causa di una simulazione di invecchiamento basata su conoscenze di oltre trent'anni fa (l'idea dell'intasamento e invecchiamento con polvere sintetica era ancora quella dell'ASHRAE 52.1 dei primi anni 90 del secolo scorso). Si consideri anche che per la determinazione della efficienza media la norma prevedeva di raggiungere una perdita di carico finale di 450 Pa che non ha riscontro con le perdite di carico normalmente raggiunte in condizioni operative.

Per la valutazione dell'efficienza di rimozione dei contaminanti, la UNI EN ISO 16890 propone un approccio completamente diverso rispetto alle norme precedenti. Essa nasce con l'obiettivo principale di fornire all'utilizzatore informazioni attendibili, ovvero ridurre il divario tra le prestazioni del filtro misurate in laboratorio e quelle realmente fornite in sito.

Innanzitutto per la classificazione dei filtri si prende in considerazione solo la loro efficienza iniziale.

Altra novità della UNI EN ISO 16890 è quella di misurare l'efficienza dei filtri rispetto a un inquinante ormai diffusamente adottato, anche nel comune linguaggio quotidiano: il particolato presente in atmosfera nelle sue varianti PM₁₀, PM_{2,5} e PM₁ definite nel Prospetto A.1.

Prospetto A.1 – Classi di PM (particulate matter)

<u>Frazione</u>	<u>Diametro aerodinamico</u>
PM ₁₀	≤ 10 μm
PM _{2,5}	≤ 2,5 μm
PM ₁	≤ 1 μm

Come sostenuto dalle principali Organizzazioni per la Sanità, sono molte ormai le evidenze scientifiche che negli ultimi decenni hanno dimostrato una correlazione tra le principali patologie respiratorie e la concentrazione di particolato in sospensione nell'aria. Per questo motivo le polveri fini di cui, purtroppo, spesso sentiamo parlare, sono monitorate dalle centraline di campionamento in tutto il mondo.

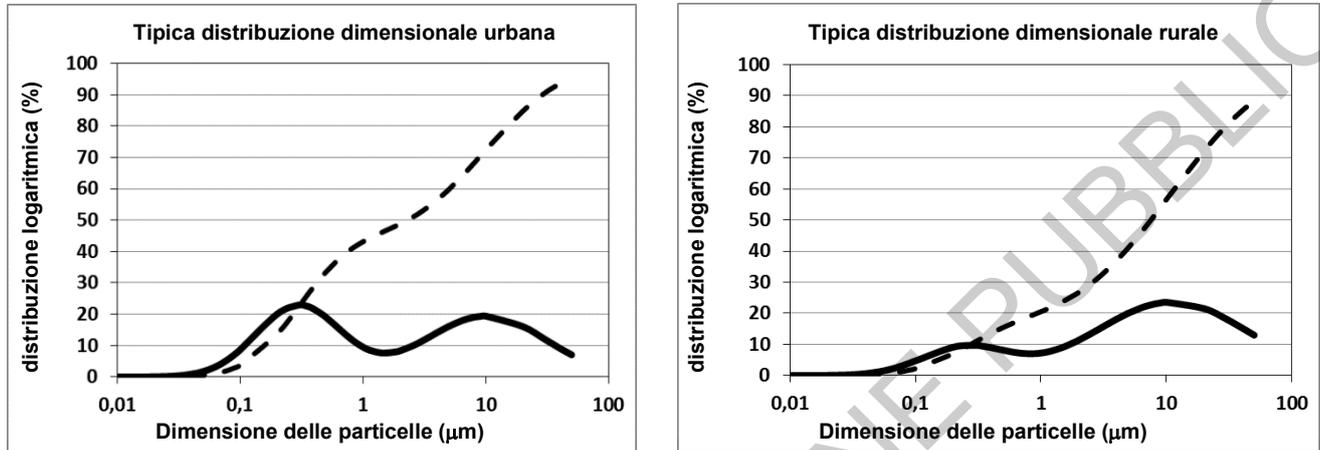
Questo permette di valutare l'utilizzo dei filtri più adatti in funzione della reale contaminazione del luogo e del livello di PM desiderato in ambiente. A titolo di esempio, se si volesse in ambiente un livello di PM_{2,5} di 10 μg/m³ a fronte di un inquinamento esterno di 20 μg/m³ servirebbe un filtro con efficienza 50% rispetto al PM_{2,5} (ePM_{2,5}), se l'inquinamento esterno fosse di 50 μg/m³ servirebbe un filtro con efficienza 80%.

La distribuzione dimensionale del particolato, come si è visto in precedenza, dipende fortemente da leggi fisiche che governano il comportamento delle particelle in atmosfera, ne consegue che in aree diverse ma con caratteristiche simili (aree rurali, urbane, deserti, ecc.) la forma della distribuzione resta praticamente costante pur con concentrazioni più o meno alte.

Questo ha permesso di costruire due distribuzioni di riferimento normalizzate, una per le aree rurali e l'altra per le aree urbane, che sono il cardine della UNI EN ISO 16890, fondata sul confronto della distribuzione del particolato a monte e a valle di un filtro (vd. figura A.1).

Nota: Nella definizione delle distribuzioni la UNI EN ISO 16890 ritiene trascurabile la differenza tra diametri equivalenti ottici e aerodinamici.

**Figura A. 1 – Distribuzione dimensionale del particolato nell'aria esterna
(Fonte UNI EN ISO 16890-1)**



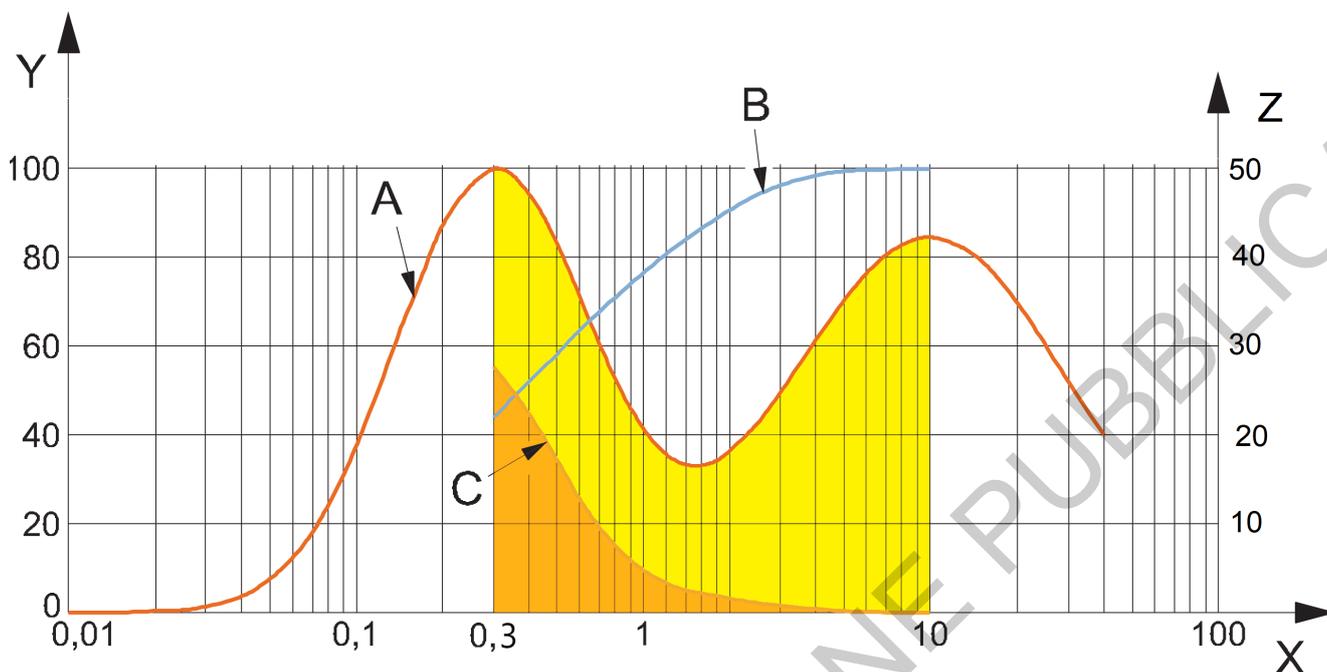
Legenda:

- distribuzione di densità logaritmica
- distribuzione logaritmica cumulata

Poiché l'efficienza di un filtro, ovvero la capacità di catturare una particella in transito, dipende dalla grandezza della stessa, la UNI EN ISO 16890 esprime questa attitudine come media pesata delle efficienze misurate per diversi intervalli dimensionali.

L'efficienza di un filtro rispetto al PM si ottiene confrontando la curva di efficienza frazionaria del filtro con la curva caratteristica della distribuzione del particolato.

Figura A. 2 – Distribuzione dimensionale del particolato vs efficienza del filtro



Legenda

X	diametro della particella [μm]	A	Distribuzione a monte del filtro
Y	Efficienza [%]	B	Efficienza
Z	Concentrazione in massa [$\mu\text{m}/\text{m}^3$]	C	Distribuzione a valle del filtro

Come evidenziato in Figura A.2 nell'intervallo di dimensioni delle particelle considerato dalla UNI EN ISO 16890, che va da 0,3 a 10 μm , il particolato fornito al filtro è rappresentato dall'area sottesa alla curva A di distribuzione del particolato a monte del filtro, il particolato non trattenuto dal filtro (penetrazione) è rappresentato dall'area in arancione, mentre l'area evidenziata in giallo rappresenta il particolato trattenuto dal filtro.

L'efficienza di filtrazione è data quindi dal rapporto:

$$e_{PM} = \frac{\text{PM trattenuto dal filtro}}{\text{PM fornito al filtro}}$$

Dato che alcuni filtri sono costruiti con fibre caricate elettrostaticamente e che questa carica tende a diminuire nel tempo, si determina l'efficienza sia a filtro nuovo che dopo aver eliminato eventuali effetti elettrostatici, raggiungendo quindi l'efficienza minima che il filtro stesso può garantire.

Si assume come valore verosimile di efficienza del filtro la media aritmetica delle due misure.

La UNI EN ISO 16890 è composta da 4 parti che definiscono il processo di prova e classificazione:

- Parte 1: definisce il sistema di classificazione;
- Parte 2: indica le modalità per la determinazione dell'efficienza spettrale e delle perdite di carico del filtro in funzione della portata d'aria;
- Parte 3: è relativa alla prova di efficienza gravimetrica per filtri che hanno un'efficienza rispetto al PM_{10} inferiore al 50% e determinazione della capacità di accumulo di polvere standard;

- Parte 4: definisce il processo per eliminare la carica elettrostatica del filtro.

La prova di un filtro prevede i seguenti passaggi:

1. Determinazione dell'efficienza spettrale secondo Parte 2 sul filtro nuovo e dell'andamento della perdita di carico in funzione della portata d'aria;
2. Eliminazione della carica elettrostatica secondo Parte 4;
3. Determinazione dell'efficienza spettrale secondo Parte 2 sul filtro condizionato/scaricato;
4. Calcolo della curva di efficienza media tra quella del filtro nuovo e quella del filtro condizionato
5. Classificazione del filtro secondo Parte 1;
6. Eventuale definizione dell'efficienza gravimetrica e della resistenza al passaggio dell'aria in funzione della polvere trattenuta dal filtro secondo Parte 3.

La norma prevede 3 gruppi di efficienza: da 0,3 a 1 μm (ISO $e\text{PM}_1$), da 0,3 a 2,5 μm (ISO $e\text{PM}_{2,5}$) e da 0,3 a 10 μm (ISO $e\text{PM}_{10}$). In funzione della capacità di cattura delle particelle più o meno fini, ogni filtro potrà appartenere ad uno dei 3 gruppi definiti sopra.

Ad esempio: se su un'etichetta leggessimo $e\text{PM}_{2,5} - 65\%$, significherebbe che il filtro appartenerrebbe al 2° gruppo (ISO $e\text{PM}_{2,5}$) e che almeno il 65% delle particelle in transito aventi grandezza fino a 2,5 micron sarebbero catturate. Naturalmente ciò significherebbe anche che più del 65% delle particelle in transito aventi grandezza fino a 10 micron sarebbero catturate.

Per filtri con efficienza inferiore al 50% nel l'intervallo da 0,3 a 10 μm si è introdotto il gruppo ISO Coarse per il quale è definita l'efficienza gravimetrica (arrestanza) iniziale con l'uso di una polvere di prova standard.

Prospetto A.2 – Gruppi dei filtri

Designazione del gruppo	$e\text{PM}_{1, \text{min}}$	$e\text{PM}_{2,5, \text{min}}$	$e\text{PM}_{10}$	Valore della classe dichiarato
ISO Coarse	—	—	<50 %	Efficienza gravimetrica iniziale
ISO $e\text{PM}_{10}$	—	—	≥ 50 %	$e\text{PM}_{10}$
ISO $e\text{PM}_{2,5}$	—	≥ 50 %	—	$e\text{PM}_{2,5}$
ISO $e\text{PM}_1$	≥ 50 %	—	—	$e\text{PM}_1$

Il Prospetto A.3 riassume per ogni Gruppo di Filtrazione i contaminanti di prova impiegati e lo schema di classificazione.

Prospetto A.3 – Contaminanti di prova impiegati per la classificazione

Gruppo di Filtrazione	Dimensioni e stato del Contaminante di prova per la classificazione (μm)	Classificazione*
ISO ePM ₁	$0,3 \leq x \leq 1$ liquido	$\geq 50 \%$
ISO ePM _{2,5}	$0,3 \leq x \leq 2,5$ liquido fino a $1 \mu\text{m}$, solido oltre $1 \mu\text{m}$	$\geq 50 \%$
ISO ePM ₁₀	$0,3 \leq x \leq 10$ liquido fino a $1 \mu\text{m}$, solido oltre $1 \mu\text{m}$	$\geq 50 \%$
ISO Coarse	polvere standard	Da 5 a 95%

*Efficienza in massa con incrementi del 5%
ePM = efficiency Particulate Matter

In generale non è possibile istituire una corrispondenza rigorosa tra la classificazione secondo UNI EN-ISO 16890 e la classificazione secondo UNI EN 779:2012, in quanto i criteri di valutazione sono profondamente diversi. Tuttavia, si possono trovare corrispondenze all'interno di gruppi omogenei di prodotto.

A.2 Filtri EPA, HEPA e ULPA

In Europa la norma di riferimento per la classificazione dei filtri ad alte prestazioni è la UNI EN 1822-1:2019, la quale fa riferimento alle UNI EN ISO 29463-2, 3, 4, 5 per l'esecuzione dei test da svolgere sia sul medium filtrante impiegato per la costruzione sia sul filtro finito. La classificazione si basa sulla misura dell'efficienza del filtro per la particella che presenta la massima penetrazione o MPPS. In sostanza i test prevedono la misura della concentrazione di particelle a monte e a valle del filtro per dimensioni di particelle comprese tra $0,12 \mu\text{m}$ e $0,25 \mu\text{m}$.

Gli acronimi sono a definire:

EPA: Efficiency Particulate Airfilter: in questo caso i filtri sono testati per la determinazione dell'efficienza globale del filtro; non sono testati individualmente e i valori dichiarati dal costruttore sono nominali e caratteristici di un lotto di produzione ritenuto statisticamente valido. Questo tipo di prodotto viene prevalentemente impiegato come prefiltrazione spinta per filtri delle classi H o U, nelle applicazioni di processo in cui è necessario garantire la rimozione di particelle fini che potrebbero danneggiare macchine rotative, aspiratori e compressori o in qualunque ambiente in cui sia necessario mantenere una buona pulizia ma non la sterilità delle attività.

HEPA: High Efficiency Particulate Airfilter: da questa classe di efficienza i filtri devono essere testati individualmente per verificarne l'assenza di perdite localizzate mediante il metodo a scansione particellare o con fumo. Prodotti delle classi H sono impiegati in tutti quei processi dove vi è la necessità di mantenere la sterilità dell'aria per la sicurezza del prodotto, del personale e dell'ambiente. Ad esempio, nell'industria farmaceutica nel settore ospedaliero, delle biotecnologie e nucleare.

ULPA: Ultra Low Penetration Airfilter: anche in questo caso i filtri sono testati individualmente, esclusivamente mediante il metodo a scansione con conta particellare, per verificarne l'efficienza minima locale sulla superficie del mezzo filtrante. L'impiego dei filtri delle classi U è limitato a quei processi in cui bisogna annullare il rischio di contaminazione per la sicurezza del processo, del personale o dell'ambiente. Esempi tipici sono la microelettronica e il settore nucleare.

I valori di efficienza locale e globale minimi garantiti per le tre classi devono essere quelli del Prospetto A.4.

Prospetto A.4 - Classi di efficienza dei filtri EPA, HEPA e ULPA secondo UNI EN 1822-1:2019

	Classe UNI EN 1822	Efficienza globale MPPS [%]	Efficienza puntuale Perdite localizzate [%]	Metodi di prova a cui devono essere sottoposti i singoli elementi filtranti
EPA (E)	E10	85	-	Determinazione su base statistica dell'efficienza globale (UNI EN ISO 29463-5)
	E11	95	-	Determinazione su base statistica dell'efficienza globale (UNI EN ISO 29463-5)
	E12	99,5	-	Determinazione su base statistica dell'efficienza globale (UNI EN ISO 29463-5)
HEPA (H)	H13	99,95	99,75	MPPS Metodo a scansione particellare (UNI EN ISO 29463-4) / metodo a fil di fumo/ OPC metodo a scansione particellare (0,3-0,5µm)
	H14	99,995	99,975	MPPS Metodo a scansione particellare / metodo a fil di fumo
ULPA (U)	U15	99,9995	99,9975	MPPS Metodo a scansione particellare (UNI EN ISO 29463-4)
	U16	99,99995	99,99975	MPPS Metodo a scansione particellare (UNI EN ISO 29463-4)
	U17	99,999995	99,9999	MPPS Metodo a scansione particellare (UNI EN ISO 29463-4)

A.3 FILTRI ELETTRONICI A PIASTRE ATTIVE

I filtri elettronici a piastre attive sono classificabili in base alla UNI 11254. Secondo tale normativa tali filtri possono essere a uno o a più stadi (mono o poli-tensione). Sono ammessi dalla norma i media filtranti caricati attivamente (cioè che necessitano di una apposita regolazione e alimentazione elettronica); non sono invece ammessi filtri in fibra pre-caricata (elettrete) o dotati di carica elettrostatica passiva. Le procedure descritte nella UNI 11254 sono state sviluppate allo scopo di valutare le prestazioni di filtri per aria elettrostatici adatti per essere inseriti all'interno di condotte di ventilazione, macchine ventilanti in genere, terminali e diffusori, oppure in depuratori d'aria da installazione, moduli filtranti ecc. Il metodo è molto simile alla precedente UNI EN 779 in cui il dispositivo è valutato mediante l'efficienza media di filtrazione per particelle del diametro di 0,4 µm di DiEthylHexylSebacate (DEHS). In base alla particolare efficienza dei filtri elettrostatici, è stabilito un valore limite minimo di efficienza iniziale pari all'80% per poter accedere alla classificazione. Sono stabilite 4 classi di efficienza, A, B, C e D come riportato nel Prospetto A.5.

Prospetto A.5 – Classi di efficienza dei filtri elettronici a piastre attive secondo UNI 11254

$\Delta p < 30 \text{ Pa}$	$\Delta p \geq 30 \text{ Pa}$	Efficienza media (E_m) per particelle con diametro di 0,4 μm %
D-PE	D-EM	$80 \leq E_m < 90$
C-PE	C-EM	$90 \leq E_m < 95$
B-PE	B-EM	$95 \leq E_m < 99$
A-PE	A-EM	$E_m \geq 99$

I diversi filtri sono classificati anche in base alla caduta di pressione iniziale (deve essere possibile distinguere tra filtri elettrostatici "puri", cioè dotati di piastre di raccolta contrapposte, piane e non, e filtri dotati di media con carica elettrostatica attiva o di tipo misto). Per questo motivo sono stabiliti due criteri di classificazione in base alla caduta di pressione iniziale: PE, caratterizzato da perdite di carico $\leq 30 \text{ Pa}$; EM, caratterizzato da perdite di carico $\geq 30 \text{ Pa}$. Il valore di caduta di pressione deve essere rilevato alla portata nominale dichiarata dal costruttore e alla fine dello sporcamento artificiale. L'efficienza media, valida per la classificazione, viene calcolata attraverso la media dei singoli valori di efficienza misurati prima e durante l'intasamento con polvere sintetica ISO Fine. L'intasamento prevede 4 incrementi di polvere fino al raggiungimento di 600 grammi.

APPENDICE B (informativa) - CLASSIFICAZIONE DEI FILTRI ED EFFICIENZA DI FILTRAZIONE DEL BIOAEROSOL

B.1 CORRELAZIONE DELLA CLASSE EPM DI FILTRAZIONE SECONDO UNI EN ISO 16890-1 ED EFFICIENZA DI FILTRAZIONE DEL BIOAEROSOL

Come indicato in Appendice A le classi di efficienza ePM_1 , $ePM_{2,5}$ ed ePM_{10} sono associate alla capacità di rimozione di due tipologie di aerosol atmosferico tipiche di ambienti urbani e rurali. Il valore percentuale indicato dopo la classe è associato alla capacità di rimuovere specificatamente quel tipo di distribuzione dimensionale. Per poter determinare una equivalenza tra i valori di efficienza ePM e la capacità di rimozione del bioaerosol nell'intervallo $0,3 \mu\text{m} - 0,5 \mu\text{m}$ si propone il seguente metodo:

- a. Si assume che nell'intervallo $0,3 \mu\text{m} - 0,5 \mu\text{m}$ la distribuzione delle particelle sia lineare ed equiprobabile. Cioè non potendo stabilire con certezza la distribuzione dimensionale si stima che vi sia la stessa probabilità di trovare particelle di bioaerosol nell'intervallo indicato. Utilizzando il foglio di calcolo dedicato al calcolo delle efficienze ePM_1 , $ePM_{2,5}$ ed ePM_{10} della UNI EN ISO 16890-1 si impone che il 100% del contaminante sia distribuito uniformemente nei primi due canali di misura, d_i , come evidenziato nel prospetto B.1
- b. Come indicato nel punto "a" il calcolo dell'efficienza è limitato alla sola distribuzione uniforme per l'intervallo $0,3 - 0,5$, come esempio si ripropongono i risultati della sostituzione per le stesse curve di efficienza indicate in Figura 6.

B.2 CORRELAZIONE DELLE CLASSI DI EFFICIENZA E E H SECONDO UNI EN 1822-1 ED EFFICIENZA DI FILTRAZIONE DEL BIOAEROSOL

I filtri classificati secondo UNI EN 1822-1 subiscono delle verifiche in cui ne viene calcolata l'efficienza di filtrazione per la particella MPPS solitamente compresa nell'intervallo dimensionale $0,12-0,25 \mu\text{m}$. Per maggiori dettagli si veda il prospetto A.4.

Applicando anche in questo caso il principio di massima cautela, la stima di efficienza di rimozione del bioaerosol è assunta pari all'efficienza MPPS.

Prospetto B.1 - Calcolo dell'efficienza ePM con distribuzione dimensionale dell'aerosol uniforme tra 0,30 µm e 0,55 µm

Calcolo ePM ₁										
d _i	d _{i+1}	d _m	Δln d _i	E _{A,i}	q _{3u}	q _{3u} *Δln d _i	E _{D,i} *q _{3u} *Δln d _i	E _{A,i} *q _{3u} *Δln d _i	E _{min} (PM ₁)	E(PM ₁)
0,30	0,40	0,35	0,29	85,4%	50,0%	0,143841	0,123272	0,122840	88%	88%
0,40	0,55	0,47	0,32	90,6%	50,0%	0,159227	0,144578	0,144180		
0,55	0,70	0,62	0,24	93,8%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
0,70	1,00	0,84	0,36	95,6%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
Somma:						0,303068	0,267850	0,267020		
ePM _{2,5} Calcolo										
d _i	d _{i+1}	d _m	Δln d _i	E _{A,i}	q _{3u}	q _{3u} *Δln d _i	E _{D,i} *q _{3u} *Δln d _i	E _{A,i} *q _{3u} *Δln d _i	E _{min} (PM _{2,5})	E(PM _{2,5})
0,30	0,40	0,35	0,29	85,4%	50,0%	0,143841	0,123272	0,122840	88%	88%
0,40	0,55	0,47	0,32	90,6%	50,0%	0,159227	0,144578	0,144180		
0,55	0,70	0,62	0,24	93,8%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
0,70	1,00	0,84	0,36	95,6%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
1,00	1,30	1,14	0,26	96,7%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
1,30	1,60	1,44	0,21	97,4%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
1,60	2,20	1,88	0,32	98,3%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
2,20	3,00	2,57	0,31	98,8%	0,0%	0,000000	0,000000	0,000000		
Somma:						0,303068	0,267850	0,267020		
ePM ₁₀ Calcolo										
d _i	d _{i+1}	d _m	Δln d _i	E _{A,i}	q _{3r}	q _{3r} *Δln d _i		E _{A,i} *q _{3r} *Δln d _i		E(PM ₁₀)
0,30	0,40	0,35	0,29	85,4%	50,0%	0,143841		0,122840	88%	88%
0,40	0,55	0,47	0,32	90,6%	50,0%	0,159227		0,144180		
0,55	0,70	0,62	0,24	93,8%	0,0%	0,000000		0,000000		
0,70	1,00	0,84	0,36	95,6%	0,0%	0,000000		0,000000		
1,00	1,30	1,14	0,26	96,7%	0,0%	0,000000		0,000000		
1,30	1,60	1,44	0,21	97,4%	0,0%	0,000000		0,000000		
1,60	2,20	1,88	0,32	98,3%	0,0%	0,000000		0,000000		
2,20	3,00	2,57	0,31	98,8%	0,0%	0,000000		0,000000		
3,00	4,00	3,46	0,29	99,3%	0,0%	0,000000		0,000000		
4,00	5,50	4,69	0,32	99,5%	0,0%	0,000000		0,000000		
5,50	7,00	6,20	0,24	99,5%	0,0%	0,000000		0,000000		
7,00	10,00	8,37	0,36	99,8%	0,0%	0,000000		0,000000		
Somma:						0,303068		0,267020		

Prospetto B.2 - Correlazione tra efficienza ePM ed efficienza nell'intervallo 0,3-0,5 µm

	Distribuzione aerosol UNI EN ISO 16890-1			Distribuzione bio-aerosol $q_i=100\%$; $\leq 0,55 \mu\text{m}$		
	ePM ₁	ePM _{2,5}	ePM ₁₀	ePM ₁	ePM _{2,5}	ePM ₁₀
ePM₁ 85%	89,00%	92,00%	97,00%	88,11%	88,11%	88,11%
ePM₁ 70%	70,48%	77,03%	91,42%	65,11%	65,11%	65,11%
ePM₁ 55%	58,09%	67,81%	88,72%	51,62%	51,62%	51,62%
ePM_{2,5} 55%	45,89%	57,04%	83,60%	39,10%	39,10%	39,10%

BOZZA CONSULTAZIONE PUBBLICA

APPENDICE C (informativa) - ELEMENTI FILTRANTI, TIPOLOGIE ED IMPIEGHI

C.1 GENERALITÀ

I filtri normalmente presenti negli impianti di climatizzazione possono essere suddivisi in 2 famiglie:

- Filtri presenti nelle UTA / Recuperatori di calore
- Filtri presenti in ambiente (es. nei fan coil)

C.2 FILTRI PRESENTI NELLE UTA

C.2.1 GENERALITÀ

All'interno delle UTA possiamo trovare normalmente celle filtranti, filtri a tasche sia morbide che rigide, filtri assoluti (in caso di impianti a servizio di reparti ospedalieri o Clean Room), filtri elettrostatici attivi a piastra.

Figura C.1 – Esempio di Unità di Trattamento Aria (UTA)



C.2.2 CELLE FILTRANTI

Sono normalmente il primo stadio di filtrazione che l'aria aspirata incontra nel suo percorso. Sono dimensionati per trattenere le particelle più grosse e fungono da prefiltri per proteggere elementi filtranti ad alta efficienza presenti negli stadi di filtrazione successivi.

Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.1

Prospetto C.1 – Caratteristiche indicative delle celle filtranti



Materiale filtrante	media in fibra sintetica o metallica (nel caso di filtri primari su aria esterna)
Telaio di supporto	telaio in lamiera zincata con reti di protezione zincate a volte in cartone fustellato
Sigillanti	sigillanti solitamente non presenti
Guarnizione	guarnizione in neoprene solitamente posta sul controtelaio di contenimento
Dimensioni frontali	(400 x 500) – (500 x 500) – (400 x 625) – (500 x 625) – (287 x 592) (490 x 592) – (592 x 592) (mm)
Profondità	Solitamente 48 o 98 mm
Efficienze	Efficienza minima ISO Coarse 55% secondo UNI EN ISO 16890 (ex G4 EN 779:2012)
Velocità frontali e resistenza al moto	Perdite di carico @ 3400 m ³ /h su dimensione 592x592 - tra 60 e 80 Pa
Manutenzione	Sostituzione con smaltimento in accordo con le indicazioni fornite dal produttore.
Posizionamento nell'impianto	ODA, REC e SEC

C.2.3 FILTRI A TASCHE

Generalmente sono il secondo stadio di filtrazione e hanno il compito di trattenere particolato fine. In caso di applicazioni ospedaliere preservano la vita operativa di filtri ad altissima efficienza.

Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.2.

Prospetto C.2 – Caratteristiche indicative dei filtri a tasche



Materiale filtrante	Carta di microfibre di vetro in caso di tasche rigide e in fibra sintetica o fibra di vetro per le tasche morbide
Telaio supporto	Materiale plastico se si tratta di tasche rigide e in lamiera zincata nel caso di tasche morbide Lo spessore del telaio sia per la tasca rigida che per la tasca morbida è pari a 25 mm
Sigillanti	Bicomponente poliuretano per tasche rigide
Guarnizione	Guarnizioni di tenuta solitamente posizionate sul controtelaio di contenimento.
Dimensioni frontali	(287 x 592) – (490 x 592) – (592 x 592) (mm)
Profondità	Filtri a tasche rigide; 292 mm circa Filtri a tasche morbide: si possono avere profondità differenti come 330-380-535-635-735 mm
Efficienze (secondo UNI EN ISO 16890-1)	ePM ₁₀ 70% (ex M6 EN 779:2012) ePM _{2,5} 70% (ex F8 EN 779:2012) ePM ₁ 50% (ex F7 EN 779:2012) ePM ₁ 70% (ex F8 EN 779:2012) ePM ₁ 85% (ex F9 EN 779:2012)
Velocità frontali e resistenza al moto	Perdite di carico iniziali a filtro pulito @ 3400 m ³ /h su dimensione 592x592 - tra 60 e 130 Pa
Posizionamento nell'impianto	ODA, SUP, REC e SEC

C.2.4 FILTRI AD ALTISSIMA EFFICIENZA (EPA, HEPA E ULPA)

A servizio di reparti ospedalieri o di Clean Room, questi filtri hanno il compito di trattenere le particelle più fini che i precedenti stadi di filtrazione non sono in grado di fermare. Vengono classificati secondo UNI EN 1822:2019 con metodo MPPS con efficienze su particelle tra 0,12 e 0,25 micron.

Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.3.

Prospetto C.3 – Caratteristiche indicative dei filtri ad altissima efficienza

	
Materiale filtrante:	Carta di microfibre di vetro
Telaio di supporto:	Lamiera zincata, plastica o legno
Sigillanti:	Bicomponente poliuretano
Guarnizione:	Guarnizione in neoprene o in poliuretano colata
Dimensioni frontali	(305 x 610) – (610 x 610) – (290 x 595) (595 x 595) (mm)
Profondità	292
Efficienze coperte (secondo UNI EN 1822-1:2019)	≥85% @ MPPS (EPA classe E10) ≥99,5% @ MPPS (EPA classe E12) ≥99,95% @ (HEPA classe H13) ≥99,995% @ MPPS (HEPA classe H14)
Velocità frontali e resistenza al moto:	Perdite di carico @ 3400 m ³ /h su dimensione 610x610 – tra 100 e 250 Pa
Posizionamento nell'impianto	ODA, SUP, REC e SEC

C.2.5 FILTRI ELETTROSTATICI ATTIVI A PIASTRA

Le caratteristiche indicative dei filtri elettrostatici attivi a piastra sono riportate nel prospetto C.4.

Prospetto C.4 – Caratteristiche indicative dei filtri elettrostatici attivi a piastra



Materiale	Alluminio, Inox, Plastica, Steatite
Dimensioni frontali	600 x 600 – 300 x 600 – 450 x 600 – 500 x 500
Profondità	50, 100, 120, 150, 200, 300 (mm)
Efficienze coperte (secondo UNI 11254:2007)	D-PE o D-EM $80 \leq E_m < 90\%$ C-PE o C-EM $90 \leq E_m < 95\%$ B-PE o D-EM $95 \leq E_m < 99\%$ A-PE o D-EM $E_m \geq 99\%$
Efficienze coperte (secondo UNI EN ISO 16890-1)	ePM ₁ tra il 50% al 95% alle portate nominali ePM _{2,5} tra il 50% al 95% alle portate nominali ePM ₁₀ tra il 70% al 95% alle portate nominali
Velocità frontali e resistenza al moto	20÷80 Pa a 3400 m ³ /h 2,65 m/s. Velocità max 3-4 m/sec
Posizionamento nell'impianto	ODA, SUP, REC e SEC

C.2.6 FILTRI PRESENTI NEI RECUPERATORI DI CALORE

Nei recuperatori di calore invece vengono spesso utilizzati filtri a pannello compatti.

Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.5.

Prospetto C.5 - Caratteristiche indicative dei filtri presenti nei recuperatori

	
Materiale filtrante:	Carta di microfibre di vetro
Telaio di supporto:	Lamiera zincata o plastica
Sigillanti	Bicomponente poliuretano
Guarnizione:	
Dimensioni frontali	(400 x 500) – (500 x 500) – (400 x 625) – (500 x 625) – (287 x 592) - (490 x 592) – (592 x 592) (mm)
Profondità:	Solitamente 48 mm
Efficienze coperte: (secondo UNI EN ISO 16890-1)	ePM ₁₀ 75% (ex M6 EN 779:2012) ePM ₁ 50% (ex F7 EN 779:2012) ePM ₁ 65% secondo UNI EN ISO 16890 (ex F8 EN 779:2012) ePM ₁ 80% secondo UNI EN ISO 16890 (ex F9 EN 779:2012)
Velocità frontali e resistenza al moto	Perdite di carico @ 1700 m ³ /h su dimensione 592x592 - tra 60 e 110 Pa
Posizionamento nell'impianto	ODA, EHA

C.3 FILTRI PRESENTI IN AMBIENTE

C.3.1 GENERALITÀ

I filtri che possiamo trovare in ambiente sono generalmente inseriti in unità canalizzate, cassette a soffitto o fancoil (tipico caso camere d'albergo, uffici). Sono forniti di elementi filtranti a bassissima efficienza con lo scopo di proteggere la batteria di scambio termico più che purificare l'aria. Alcuni terminali d'aria possono essere dotati di filtri d'aria elettrostatici attivi efficaci per la purificazione dell'aria in transito.

Figura C.2 – Unità canalizzate e fan-coils



C.3.2 CELLE FILTRANTI

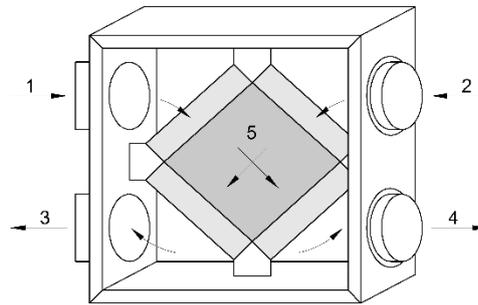
Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.6.

Prospetto C.6 - Caratteristiche indicative delle celle filtranti

Materiale filtrante	Fibra sintetica, in polipropilene oppure in poliuretano a cellule aperte.
Telaio di supporto	Lamiera zincata con reti di protezione zincate
Sigillanti	Non presenti
Guarnizione	Guarnizione in neoprene solitamente posta sul telaio di contenimento dell'unità
Dimensioni frontali	In funzione dell'unità e del costruttore
Profondità	In funzione dell'unità e del costruttore
Efficienze:	Efficienza molto bassa non classificabile per alcuni media filtranti (polipropilene o poliuretano)
Velocità frontali e resistenza al moto	In funzione dell'unità e del costruttore
Posizionamento nell'impianto	SEC

C.3.3 FILTRI PRESENTI NELLE UNITÀ DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA DECENTRALIZZATA A DOPPIO FLUSSO

Figura C.3 – Schema di funzionamento unità di VMC decentralizzata a doppio flusso



Tali unità, tipicamente impiegate stanza per stanza, hanno la caratteristica di filtrare l'aria esterna immessa in ambiente, cioè di depurarla da polveri, particolato in sospensione, pollini, etc. e di poter fornire a ogni ambiente in ogni momento, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne, la quantità d'aria esterna desiderata, stanza per stanza, dove e quando serve, con elevatissima efficacia, specie se controllate tramite sensori di presenza e/o di CO₂.

Benché il contagio tra persone in stanze diverse sia impossibile, dato che ogni unità estrae l'aria viziata (recuperandone il calore) da ogni singola stanza, nella quale immette l'aria esterna, le unità sono comunque dotate di filtri di buona efficienza.

Le caratteristiche indicative sono riportate nel prospetto C.7.

Prospetto C. 7 - Caratteristiche indicative dei filtri presenti nelle VMC decentralizzate a doppio flusso

Materiale filtrante	Fibra sintetica, in polipropilene o PET
Telaio di supporto	Lamiera zincata, PET, cartone
Sigillanti	Poliuretano o di altra natura
Guarnizione	Guarnizione a seconda della classe filtrante
Dimensioni frontali	50÷150 x 100÷250 mm
Profondità	20 ÷ 50 mm
Efficienze coperte	Sezione aria immissione: ePM _{2,5} 65% (ex F7 EN 779:2012) ed eventuale prefilto ISO Coarse.

Progetto UNI/PdR XXX:2023

(secondo UNI EN ISO 16890-1)	Sezione aria estrazione: ISO Coarse 55% secondo UNI EN ISO 16890 (ex G4 UNI EN 779:2012)
Velocità frontali e resistenza al moto	Perdite di carico @ 30 ÷ 100 m ³ /h tra 20 e 120 Pa
Manutenzione	Sostituzione con smaltimento in accordo alle istruzioni fornite dal costruttore
Posizionamento nell'impianto	All'interno della VMC, in posizione accessibile per la sostituzione (ODA, EHA)

APPENDICE D (INFORMATIVA) - ALTRI DISPOSITIVI ATTIVI DI DISINFEZIONE A SUPPORTO DELLA FILTRAZIONE DELL'ARIA

D.1 GENERALITÀ

Così come documentato a livello internazionale da ASHRAE (Pubblicazione: "Position Document on Filtration and Air Cleaning"), accanto all'azione filtrante di tipo meccanico e/o elettronico a piastre classificabile secondo la UNI EN ISO 16890, esistono tutta una serie di dispositivi di disinfezione dell'aria che se scelti e dimensionati correttamente, possono assumere una valenza anche rilevante proprio in abbinamento ai classici filtri meccanici o elettronici a piastra, nell'abbattimento della carica patogena, eventualmente presente nel flusso d'aria o che si viene a depositare sui filtri stessi per effetto di trattenimento esercitato dal filtro stesso sulle polveri ed il particolato in genere.

Tali dispositivi di disinfezione dell'aria, installabili all'interno delle UTA, in ambienti utilizzati dalle persone, ascensori, spogliatoi e più in generale a corredo degli impianti di ventilazione e climatizzazione, possono avere un impatto non trascurabile nella minimizzazione del rischio da contagio da bioaerosol patogeno, riducendo le cariche batteriche e virali che talvolta possono essere trattenute dai filtri meccanici e/o elettronici, presenti negli impianti aeraulici e/o negli ambienti trattati.

Tali apparecchiature, sono in larga diffusione da almeno 5-10 anni e con la pandemia da Covid-19 hanno visto, nel 2020, un ampliamento esponenziale della loro adozione in quanto risultano essere complementari all'azione dei filtri meccanici o dei filtri elettronici a piastre nel contrasto al coronavirus (SARS-CoV-2).

Essendo quello dei dispositivi di disinfezione per gli impianti aeraulici un campo non ancora completamente normato, è raccomandato valutare soltanto l'utilizzo di dispositivi testati e verificati da enti terzi abilitati e certificati. Pertanto, valgono tutte le considerazioni inserite nel DPCM del 26/07/2022.

Di seguito, così come fatto per i filtri meccanici ed elettronici, vengono riportate a titolo esemplificativo e non esaustivo alcune di queste tecnologie.

D.2 LAMPADE GERMICIDA CON DIVERSI SPETTRI DI RADIAZIONE UV

Ampliamente utilizzate in diversi settori applicativi, da oltre 40 anni, la radiazione UV-C è un disinfettante noto di superfici, oggetti e acqua che aiuta a contenere il rischio di contrarre infezioni.

Tutti i batteri e i virus testati finora (diverse migliaia nel corso degli anni, tra cui anche diversi coronavirus) rispondono alla disinfezione UV-C. Test di laboratorio hanno dimostrato che le sorgenti luminose UV-C consentono di abbattere virus e agenti patogeni presenti su una superficie con un tempo di esposizione adeguato (che dipende dal tipo di unità e di lampade).

Figura D.1 – Esempio di lampade a raggi UV installate in una UTA



Criteria di dimensionamento: I produttori di lampade UV-C pubblicano i dati dei microwatts irradiati in funzione della potenza in W della lampada ($\mu\text{W}/\text{W}$), valori questi misurati di norma alla distanza di 1 m dalla superficie della lampada. I livelli consigliati da ASHRAE, di microwatt per centimetro quadrato,

sono sicuramente un ottimo punto di riferimento e per una valutazione precisa a seconda delle diverse applicazioni, si consiglia di consultare l'ASHRAE Handbook Applications.

Effetti documentati sulla disinfezione: Diversi studi hanno affrontato l'applicazione degli UV-C nelle strutture sanitarie, alcuni di questi mostrano benefici per la salute. Ad esempio, alcuni studi hanno mostrato una significativa differenza nella proliferazione di germi e batteri quando il sistema UV-C installato nei condotti di ventilazione o nelle UTA irradiava le batterie di raffreddamento e le bacinelle di raccolta condensa, rispetto a quando era spento.

D.3 DISPOSITIVI DI SANIFICAZIONE ATTIVA DELL'ARIA PCO AD OSSIDAZIONE FOTOCATALITICA

I dispositivi di sanificazione attiva dell'aria ad ossidazione fotocatalitica PCO sfruttano in generale l'azione combinata di speciali lampade a raggi UV con una struttura catalizzatrice costituita da una lega metallica con matrice a nido d'ape, composta principalmente da nanotecnologia TiO_2 (biossido di titanio).

I sistemi PCO, investiti da un flusso d'aria, danno origine attraverso la reazione fotocatalitica a degli agenti ossidanti comunemente noti come ROS (Reactive Oxygen Species) che solitamente si dividono in radicali ossidrilici, perossido di idrogeno e talvolta ozono. La quantità minima dei ROS che viene trascinato dal flusso d'aria è in grado di igienizzare in continuo, per effetto ossidativo, sia le UTA in cui sono inseriti, sia la distribuzione aerea e se dimensionati in maniera adeguata, è possibile avere effetti di decontaminazione anche negli ambienti trattati, con efficacia generale nella riduzione di microbi, batteri, muffe e virus.

Figura D.2 – Esempio di dispositivo ad ossidazione fotocatalitica



Criteri di dimensionamento: I parametri principali a cui bisogna fare riferimento in fase di dimensionamento sono:

- Portata dell'aria in funzione della quale può variare tipologia e numero di dispositivi;
- Velocità di attraversamento dell'aria compresa tra i 2 e i 7 m/s;
- Umidità dell'aria ottimale compresa tra il 20% e il 70%.

Effetti documentati sulla disinfezione: non esistono evidenze documentate di verifica in ambienti reali, ma da alcune verifiche comparative, è emersa la capacità di abbattere la carica virale di SARS-CoV-2 inoculata in fase liquida sia su una superficie che su un tessuto. L'abbattimento verificato ha mostrato una riduzione di 1,0 log (90,0%) maggiore rispetto al decadimento naturale del virus verificato nella prova di controllo, eseguita a pari condizioni, ma senza trattamento con tecnologia di "sanificazione attiva dell'aria ad ossidazione fotocatalitica".

D.4 TECNOLOGIE BASATE SUI BENEFICI DEI RADICALI OSSIDRILI

Si tratta di una tecnologia di atomizzazione elettrostatica che applicando un'alta tensione all'umidità invisibile nell'aria è in grado di produrre radicali ossidrilici. Tali radicali sono efficaci nella riduzione degli agenti patogeni grazie al loro effetto ossidativo.

Figura D.3 – Immagine a puro titolo esemplificativo di tecnologia basata sui radicali ossidrili



Effetti documentati sulla disinfezione: non esistono evidenze documentate di verifica in ambienti reali, ma da alcune verifiche comparative, promosse da produttori di dispositivi che utilizzano le proprietà dei radicali ossidrili, condotte in una camera di test contenente il nuovo coronavirus (SARS-CoV-2) con e senza esposizione a tecnologie basate sui radicali ossidrili, hanno dato come tasso di inibizione il 99,99%.

D.5 TECNOLOGIE BASATE SULLA OZONIZZAZIONE

L'ozono è un gas con un forte potere ossidante che è in grado di inattivare funghi, batteri e virus. Da decenni è utilizzato per la potabilizzazione delle acque e nell'industria alimentare. In Italia, Il Ministero della Sanità nel 1996, "ha riconosciuto l'utilizzo dell'ozono nel trattamento dell'aria e dell'acqua, come presidio naturale per la sterilizzazione di ambienti contaminati da batteri, virus, spore, muffe ed acari".

Figura D.4 – Immagine a puro titolo esemplificativo di un ozonizzatore a piastre



Criteri di dimensionamento: In ragione dell'elevato potere ossidante, l'ozono in fase gas ad alte concentrazioni può essere pericoloso per la salute, in particolare per quanto riguarda le vie respiratorie. La concentrazione massima ammissibile per ambienti di lavoro con esposizione 8 h/g - 5 gg/settimana è pari a 0,1 ppm. Una concentrazione di 1 ppm può essere tollerabile per brevi esposizioni (es. 15'). Concentrazioni di 100-1000 ppm possono risultare fatali anche in breve tempo.

Effetti documentati sulla disinfezione: A causa delle sue proprietà tossicologiche e della sua capacità di ossidare diversi materiali, la sanificazione degli ambienti di lavoro tramite ozono deve avvenire in assenza di persone, utilizzando una dose e un tempo di impiego sufficienti a eliminare i microrganismi

e virus ma con effetti di deterioramento minimi sui materiali. È infatti noto che concentrazioni ambientali di ozono accettabili per la salute umana possono essere non sufficientemente efficaci come sanificanti.

D.6 DISPOSITIVI DI SANIFICAZIONE ATTIVA TRAMITE NON THERMAL PLASMA

Questa tipologia di dispositivi, attraverso un campo elettrico alternato in alta tensione, è in grado di generare un campo di plasma non termico (Non Thermal Plasma o NTP), ovvero una tipologia di plasma caratterizzato da una temperatura poco superiore a quella ambientale. Questo accade perché vengono eccitati solamente gli elettroni e non gli atomi. Se il plasma viene generato a contatto con l'aria, produce una vasta gamma di particelle altamente reattive che prende il nome di ROS (Reactive Oxygen Species), costituita da molecole ionizzate, radicaliche ed ozono, la quale è in grado di attaccare una grande varietà di composti inquinanti, ossidandoli e disgregandoli, e di svolgere un'azione sanificante delle matrici con le quali entra in contatto (aria, acqua, superfici,...).

Figura D.5 – Esempio di sistema di generazione di plasma freddo



Criteria di dimensionamento

Questa tipologia di dispositivi è progettata per essere collocata in diversi ambienti e strutture, in funzione delle quali richiede uno specifico dimensionamento per ottimizzarne l'efficacia. Ad esempio, all'interno di condotte di aria il parametro di riferimento per il dimensionamento, in funzione della portata media attesa nella condotta, è la potenza elettrica assorbita per la generazione del campo elettrico, in quanto proporzionale alla quantità di plasma freddo prodotta.

Per le comuni applicazioni civili si considerano 10 W ogni 500 m³/h di aria trattata.

Effetti documentati sulla disinfezione

L'attività biocida avviene principalmente per ossidazione delle membrane e delle varie molecole organiche cellulari. Gli effetti ossidativi esercitati dalle specie reattive presenti nel Non Thermal Plasma sono in grado di alterare gravemente le strutture e le funzionalità cellulari arrivando fino a danneggiare gli acidi nucleici provocando quindi la morte della cellula o la sua incapacità a riprodursi. L'NTP si è dimostrato efficace non solo su batteri Gram positivi e Gram negativi, muffe, lieviti e virus, ma anche su endotossine batteriche, VOC (composti organici volatili), odori.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministero della Sanità - Piano nazionale di prevenzione per la tutela e la promozione della salute degli ambienti confinati 30 marzo 2000
- [2] Guzman, M.I. Bioaerosol Size Effect in COVI D-19 Transmission. Preprints 2020, 2020040093. doi: 10.20944/preprints202004.0093.v2.
- [3] G. Buonanno, L. Stabile, L. Morawska. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment, *Environment International*, Volume 141, 2020, 105794. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794.
- [4] Park WB, Kwon NJ, Choi SJ, Kang CK, Choe PG, Kim JY, Yun J, Lee GW, Seong MW, Kim NJ, Seo JS, Oh MD. Virus Isolation from the First Patient with SARS-CoV-2 in Korea. *J Korean Med Sci.* 2020 Feb;35(7):e84. doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e84
- [5] Chen, N.; Zhou, M.; Dong, X.; Qu, J.; Gong, F.; Han, Y.; Qiu, Y.; Wang, J.; Liu, Y.; Wei, Y., et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet* 2020, 395, 507-513.
- [6] Morawska, L.; Johnson, G.R.; Ristovski, Z.D.; Hargreaves, M.; Mengersen, K.; Corbett, S.; Chao, C.Y.H.; Li, Y.; Katoshevski, D. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J. Aerosol Sci.* 2009, 40, 256-269.
- [7] Chao, C.Y.H.; Wan, M.P.; Morawska, L.; Johnson, G.R.; Ristovski, Z.D.; Hargreaves, M.; Mengersen, K.; Corbett, S.; Li, Y.; Xie, X., et al. Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening. *J. Aerosol Sci.* 2009, 40, 122-133.
- [8] Xie, X.; Li, Y.; Sun, H.; Liu, L. Exhaled droplets due to talking and coughing. *J. R. Soc. Interface* 2009, 6, S703-S714.
- [9] Lai, K.-M.; Bottomley, C.; McNerney, R. Propagation of Respiratory Aerosols by the Vuvuzela. *PLOS ONE* 2011, 6, e20086.
- [10] Yang, S.; Lee, G.W.M.; Chen, C.-M.W.; Chih-Cheng; Yu, K.-P. The size and concentration of droplets generated by coughing in human subjects. *J. Aerosol Med.* 2007, 20, 484-494.
- [11] Lindsley, W.G.; Blachere, F.M.; Thewlis, R.E.; Vishnu, A.; Davis, K.A.; Cao, G.; Palmer, J.E.; Clark, K.E.; Fisher, M.A.; Khakoo, R., et al. Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PLOS ONE* 2010, 5, e15100.
- [12] Duguid, J.P. The numbers and the sites of origin of the droplets expelled during expiratory activities. *Edinburgh Med. J.* 1945, 52, 385-401. Preprints (www.preprints.org) | NOT PEER-REVIEWED | Posted: 22 April 2020 doi:10.20944/preprints202004.0093.v28 of 10
- [13] Jennison, M.W. Atomizing of mouth and nose secretions into the air as revealed by high-speed photography. *Aerobiology* 1942, 17, 106-128.
- [14] Ville Vuorinen, Mia Aarnio, Mikko Alava, Ville Alopaeus, Nina Atanasova, Mikko Auvinen, Nallannan Balasubramanian, Hadi Bordbar, Panu Erästö, Rafael Grande, Nick Hayward, Antti Hellsten, Simo Hostikka, Jyrki Hokkanen, Ossi Kaario, Aku Karvinen, Ilkka Kivistö, Marko Korhonen, Risto Kosonen, Janne Kuusela, Sami Lestinen, Erkki Laurila, Heikki J. Nieminen, Petteri Peltonen, Juho Pokki, Antti Puisto, Peter Råback, Henri Salmenjoki, Tarja Sironen, Monika Österberg. Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors, *Safety Science*, Volume 130, 2020. doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104866.
- [15] J.W. Tang, Y. Li, I. Eames, P.K.S. Chan, G.L. Ridgway. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection*, Volume 64, Issue 2, 2006, Pages 100-114. doi.org/10.1016/j.jhin.2006.05.022.

- [16] A. Peters, P. Parneix, J. Otter, D. Pittet, Putting some context to the aerosolization debate around SARS-CoV-2, *Journal of Hospital Infection*, Volume 105, Issue 2, 2020, Pages 381-382, ISSN 0195-6701. doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.040.
- [17] G Aernout Somsen, Cees van Rijn, Stefan Kooij, Reinout A Bem, Daniel Bonn. Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission. *The Lancet Respiratory Medicine*, Volume 8, Issue 7, 2020, Pages 658-659. doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30245-9.
- [18] Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y. et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* 582, 557–560 (2020). doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3.
- [19] Chia et al., 2020. Chia, P.Y., Coleman, K.K., Tan, Y.K., Ong, S.W.X., Gum, M., Lau, S.K., Sutjipto, S., Lee, P.H., Son, T.T., Young, B.E., Milton, D.K., Gray, G.C., Schuster, S., Barkham, T., De, P.P., Vasoo, S., Chan, M., Ang, B.S.P., Tan, B.H., Leo, Y.S., Ng, O.T., Wong, M.S.Y., Marimuthu, K., 2020. Detection of air and surface contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in hospital rooms of infected patients. medRxiv doi:10.1101/2020.03.29.20046557.
- [20] P. Azimi, B. Stephens HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment* 70 (2013) 150-160.
- [21] Gabriel Birgand, PhD; Nathan Peiffer-Smadja, MD; Sandra Fournier, MD; Solen Kerneis, PhD; François-Xavier Lescure, PhD; Jean-Christophe Lucet, PhD. Assessment of Air Contamination by SARS-CoV-2 in Hospital Settings. *JAMA Network Open*. 2020;3(12):e2033232. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.33232
- [22] By W. J. Kowalski, PE, Graduate Researcher, and William Bahnfleth, PhD, PE, Assistant Professor, The Pennsylvania State University, Architectural Engineering Dept., University Park, Pa. Airborne Respiratory Diseases and Mechanical Systems for CONTROL OF MICROBES. HPAC Heating/Piping/AirConditioning July 1998
- [23] Bonadonna L, Briancesco R, Brunetto B, Coccia AM, De Gironimo V, Della Libera S, Fuselli S, Gucci PMB, Iacovacci P, Lacchetti I, La Rosa G, Meloni P, Paradiso R, Pini C, Semproni M per il Gruppo di Studio Nazionale sull’Inquinamento Indoor. *Strategie di monitoraggio dell’inquinamento di origine biologica dell’aria in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/37).
- [24] Bonadonna L, Marconi A. *Stato attuale ed orientamento degli studi e delle ricerche sulla contaminazione biologica dell’aria degli ambienti chiusi (indoor)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1990. (Rapporti ISTISAN 90/14).
- [25] J. Seinfeld und S. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, Bd. 3rd edition, Wiley, 2016
- [26] G.R. Johnson, L.Morawska, Z.D.Ristovski, M.Hargreaves, K.Mengersen, C.Y.H.Chao, M.P. Wan, Y.Li, X.Xie, D.Katoshevski, S.Corbett *Modality of human expired aerosol size distributions*. 2011 ElsevierLtd. j.jaerosci.2011.07.009.
- [27] ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, *Annuario dei dati ambientali 2010*
- [28] Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell’aria indoor. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell’infezione da virus SARS-CoV-2*. Versione del 25 maggio 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 5/ 2020 Rev. 2)
- [29] Draisci R, Attias L, Baldassarri L, Catone T, Cresti R, Fidente RM, Marcello I, Buonanno G, Bertinato L. - *Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell’attuale emergenza COVID-19: ambienti/superfici*. Aggiornamento del Rapporto ISS

COVID-19 n. 25/2020. Versione del 20 maggio 2021. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2021. (Rapporto ISS COVID-19, n. 12/2021).

- [30] Gruppo di Lavoro ISS Ambiente-Rifiuti COVID-19. Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2. Versione del 25 maggio 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 33/2020)
- [31] ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning
- [32] ASHRAE Building Readiness
- [33] UNI EN 149 Dispositivi di protezione delle vie respiratorie - Semimaschere filtranti antipolvere - Requisiti, prove, marcatura
- [34] UNI EN 13306:2018 Manutenzione - Terminologia di manutenzione
- [35] UNI EN 13274-7 Dispositivi di protezione delle vie respiratorie - Metodi di prova - Parte 7: Determinazione della penetrazione dei filtri antipolvere
- [36] UNI CEN/TR 16798-2 Prestazioni energetiche degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 2: Interpretazione dei requisiti della norma EN 16798-1 - Parametri di input ambientale interno per la progettazione e la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica (Modulo M1-6)
- [37] UNI EN 12097 Ventilazione degli edifici – Rete delle condotte – Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte.
- [38] UNI EN ISO 9001 Sistemi di gestione per la qualità
- [39] UNI EN ISO 14644-1 Camere bianche ed ambienti controllati associati - Parte 1: Classificazione della pulizia dell'aria mediante concentrazione particellare
- [40] UNI EN ISO 19011 Linee guida per gli audit dei sistemi di gestione per la qualità e/o di gestione ambientale.
- [41] UNI ISO 31000 Principi e Linee Guida per la gestione del rischio
- [42] UNI EN 12341:2014 Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM₁₀ o PM_{2,5}
- [43] UNI EN 481:1994 Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.