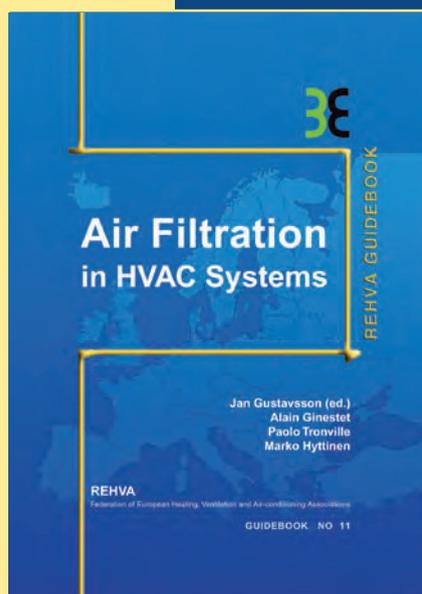


# FILTRAZIONE DELL'ARIA NEGLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

*Traduzione a cura di  
Paolo Tronville*



# INDICE

Capitolo 1 - <b>Cenni sulla filtrazione dell'aria</b> .....	1
1.1 - Inquinanti .....	1
1.2 - Requisiti per l'aria in ambienti confinati .....	2
1.3 - Requisiti energetici .....	3
1.4 - Filtrazione dell'aria .....	4
1.5 - Classificazione dei filtri .....	5
1.6 - Considerazioni igieniche sui filtri d'aria .....	8
1.7 - Sostituzione .....	9
1.8 - Lista di controllo per la filtrazione dell'aria .....	10
Capitolo 2 - <b>Terminologia</b> .....	11
Capitolo 3 - <b>Uso dei filtri d'aria</b> .....	14
3.1 - Storia .....	14
3.2 - Situazione attuale .....	15
Capitolo 4 - <b>Concetti ingegneristici di base</b> .....	17
4.1 - L'aria che ci circonda .....	17
4.1.1 - Particelle: definizioni .....	17
4.1.2 - Aeriformi: definizioni .....	18
4.1.3 - Aerosol atmosferico .....	18
4.1.4 - Inquinanti aeriformi .....	20
4.1.5 - Aria in ambienti confinati .....	21
4.1.6 - Microrganismi .....	21
4.1.7 - Classificazione dell'aria esterna .....	22

4.2 - Salute e inquinanti .....	24
4.2.1 - Inquinanti .....	24
4.2.2 - Protezione dell'impianto di ventilazione .....	26
4.3 - Requisiti energetici .....	27
4.4 - Requisiti per l'aria in ambienti confinati .....	29
4.4.1 - Norma VDI 6022: Criteri igienici per gli impianti di climatizzazione .....	30
4.4.2 - Norma UNI EN 13779: Classificazione e requisiti per l'aria negli ambienti confinati .....	31
<b>Capitolo 5 - Concetti di base sulla filtrazione particellare .....</b>	<b>33</b>
5.1 - Generalità .....	33
5.2 - I meccanismi della filtrazione .....	34
5.2.1 - Effetto setaccio .....	34
5.2.2 - Impatto inerziale .....	34
5.2.3 - Intercettazione .....	34
5.2.4 - Diffusione .....	34
5.2.5 - Attrazione elettrostatica .....	35
5.2.6 - Efficienza di rimozione particellare complessiva .....	35
<b>Capitolo 6 - Metodi di prova per filtri d'aria per particelle .....</b>	<b>38</b>
6.1 - Filtri per impianti di climatizzazione .....	38
6.1.1 - Metodo di prova europeo per filtri per impianti di climatizzazione .....	38
6.1.2 - Metodo di prova statunitense per la prova di filtri per impianti di climatizzazione .....	40
6.2 - Classificazione dei filtri d'aria .....	42
6.2.1 - Classificazione di filtri per impianti di climatizzazione .....	42
6.2.2 - Classificazione dei filtri EPA, HEPA e ULPA .....	43
6.3 - Misure in sito .....	44
6.3.1 - Rimozione delle particelle .....	44
6.3.2 - Analisi delle particelle .....	45
<b>Capitolo 7 - Filtri d'aria per particelle .....</b>	<b>46</b>
7.1 - Filtri con materiali fibrosi .....	46
7.1.1 - Materiali fibrosi .....	46
7.1.2 - Fibre di vetro .....	46
7.1.3 - Fibre di polimeri .....	48
7.1.4 - Fibre Electret .....	48
7.2 - Processi .....	48
7.2.1 - Cardatura .....	48
7.2.2 - Electret .....	48
7.2.3 - Meltblown .....	48
7.2.4 - Rotante .....	49
7.2.5 - Flashspun .....	49
7.2.6 - Electrospinning .....	49
7.3 - Assemblaggio dei filtri d'aria .....	49
7.4 - Tipologie di filtri d'aria .....	50
7.5 - Filtri per particelle grandi (classe G) .....	52
7.6 - Filtri per particelle piccole (classe F) .....	52

7.7 - Filtri EPA, HEPA e ULPA .....	54
7.8 - Precipitatori elettrostatici (ESP) .....	54
7.9 - Dispositivi a luce ultravioletta (UV-C) .....	56
<b>Capitolo 8 - Filtrazione degli aeriformi</b> .....	<b>57</b>
8.1 - Adsorbimento .....	57
8.1.1 - Sintesi sull'adsorbimento degli inquinanti aeriformi .....	59
8.2 - Materiali per la rimozione degli inquinanti aeriformi .....	60
8.3 - Filtri per inquinanti aeriformi .....	60
8.4 - Metodi di prova per la filtrazione degli aeriformi .....	62
8.5 - Scelta dei filtri per inquinanti aeriformi .....	64
8.5.1 - Tempo di permanenza (tempo di contatto) .....	64
8.5.2 - SO <sub>2</sub> e NO <sub>2</sub> .....	65
8.5.3 - NO .....	66
8.5.4 - VOC (Volatile Organic Compounds o Composti organici volatili) .....	66
8.5.5 - Ozono, O <sub>3</sub> .....	67
8.5.6 - Qualità dell'aria .....	67
8.5.7 - Protezione .....	67
8.5.8 - Sostituzione, smaltimento .....	67
<b>Capitolo 9 - Prestazioni effettive dei filtri</b> .....	<b>68</b>
9.1 - Dati di laboratorio e reali prestazioni .....	68
9.1.1 - Efficienza .....	68
9.1.2 - Caduta di pressione finale di prova .....	69
9.1.3 - Capacità di accumulo della polvere di prova .....	69
9.1.4 - Sintesi delle prove di laboratorio .....	71
9.2 - Funzionamento reale dei filtri per particelle .....	71
9.2.1 - Neutralizzazione, rimozione della carica elettrostatica .....	73
9.2.2 - Rilascio, urto elastico e dispersione .....	75
<b>Capitolo 10 - Considerazioni igieniche sui filtri d'aria</b> .....	<b>78</b>
10.1 - Percezione della qualità dell'aria .....	78
10.1.1 - Odore .....	78
10.1.2 - Reazioni chimiche .....	80
10.2 - Microrganismi .....	81
10.2.1 - Microrganismi catturati nei filtri d'aria .....	81
10.2.2 - Crescita di microbi nei filtri d'aria .....	82
10.3 - Trattamenti antimicrobici .....	84
<b>Capitolo 11 - Applicazioni e scelta dei filtri d'aria</b> .....	<b>86</b>
11.1 - Filtri per particelle .....	86
11.1.1 - Efficienza .....	86
11.1.2 - Caduta di pressione .....	87
11.1.3 - Durata del filtro - sostituzione .....	91
11.2 - Prefiltrazione .....	92
11.3 - Installazione .....	93
11.3.1 - Pareti filtranti .....	93

11.3.2 - UTA .....	94
11.3.3 - Raccomandazioni per l'installazione .....	94
11.3.4 - Perdite attraverso il filtro .....	96
11.4 - Costo associato al ciclo di vita (LCC) .....	98
11.4.1 - Calcolo .....	98
11.4.2 - Costi scontati con il metodo del valore odierno .....	99
11.4.3 - Esempio di calcolo del LCC .....	100
11.4.4 - Sintesi del LCC .....	101
11.5 - Valutazione del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment) .....	102
11.6 - Sezione di ingresso dell'aria .....	102
11.6.1 - Criteri di progettazione dell'ingresso di aria .....	103
11.7 - Sostituzione dei filtri sporchi .....	103
11.8 - Smaltimento dei filtri usati .....	104
11.8.1 - Legislazione .....	104
11.8.2 - Rifiuti organici .....	105
11.8.3 - Classificazione .....	105
11.8.4 - Rifiuti pericolosi .....	105
Capitolo 12 - <b>Certificazione dei filtri</b> .....	106
12.1 - Certificazione EUROVENT .....	106
12.2 - Marchio svedese P .....	106
12.3 - Omologazione del tipo finlandese .....	107
Capitolo 13 - <b>Filtrazione dell'aria - check list</b> .....	109
13.1 - Progetto .....	109
13.2 - Installazione .....	110
13.3 - Funzionamento .....	111
<b>Bibliografia</b> .....	112
<b>Webgrafia</b> .....	118
<b>Appendice all'edizione italiana</b> .....	119

## **PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA**

È tradizione consolidata che alcune linee guida REHVA siano tradotte in italiano e pubblicate nella collana AiCARR.

Questo testo rappresenta un passo avanti rispetto alla tradizione, nel senso che finora le traduzioni rispettavano fedelmente il testo originale, mentre a partire da questa guida, in accordo con REHVA, AiCARR ha deciso di aggiornarne i contenuti e di adattarli alla realtà italiana.

Questa guida è stata oggetto di una serie di perfezionamenti: per esempio è stata riscritta e aggiornata la bibliografia e sono state inserite alcune note e un'appendice italiana. Questa ultima aggiunta introduce il miglioramento più importante: infatti, una delle norme più volte citata, la UNI EN 779:2005, è stata oggetto di una revisione, pubblicata nel 2012, che ha modificato i criteri di classificazione dei filtri.

Nella speranza di aver reso un servizio al lettore italiano, AiCARR augura buona lettura.

Il Presidente della Commissione Editoria  
Francesca Romana d'Ambrosio

## CAPITOLO 1

# CENNI SULLA FILTRAZIONE DELL'ARIA

Nel corso degli ultimi decenni si è progressivamente riconosciuto che lo scopo primario della filtrazione dell'aria è legato ai potenziali benefici per la tutela della salute umana. I criteri più importanti nella scelta di un impianto per la filtrazione dell'aria sono legati a inquinanti esterni, qualità dell'aria interna desiderata, requisiti energetici e condizioni igieniche.

### 1.1 - Inquinanti

Le caratteristiche degli inquinanti presenti nell'aria interna ed esterna variano enormemente in funzione di luogo, ora e condizioni locali. In atmosfera si trova un elevatissimo numero di particelle di differenti dimensioni, forme, concentrazioni e tossicità e sono anche presenti molte sostanze aeriformi, le cui caratteristiche variano dall'essere innocue all'essere irritanti e insalubri. Le impurità presenti nell'aria differiscono tra loro per dimensione e composizione: si distinguono particelle ultrafini o nanoparticelle (dimensione inferiore a  $0,1 \mu\text{m}$ ), particelle fini (da  $0,1 \mu\text{m}$  a  $2,5 \mu\text{m}$ ) e particelle grandi (polveri con dimensione maggiore di  $2,5 \mu\text{m}$ ). La distribuzione delle dimensioni delle particelle nell'aerosol atmosferico è esprimibile in modi differenti (cfr. 4.1.3). Come mostrato in Figura 1.1, la maggior parte delle particelle ha dimensione inferiore a  $0,1 \mu\text{m}$  (nanoparticelle) in riferimento al numero e dimensione maggiore di  $0,1 \mu\text{m}$  in riferimento alla massa.

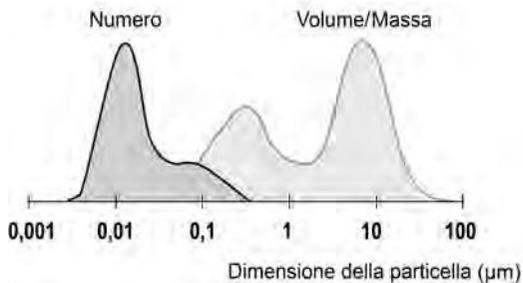


Figura 1.1- Esempio di distribuzione delle dimensioni in numero e in massa di un aerosol atmosferico. Adattato da (EPA, 2004).

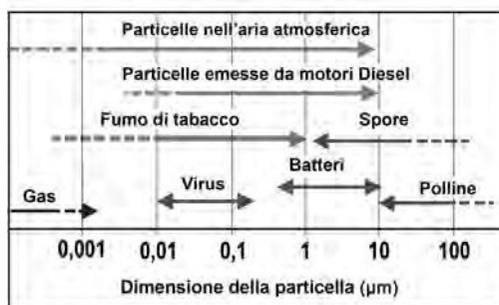


Figura 1.2 - Esempi di dimensioni delle particelle per alcuni inquinanti.

Vale la pena evidenziare che una particella di 10 µm ha la stessa massa di un milione di particelle ultrafini. Il numero totale di particelle in un'atmosfera urbana può superare 10 miliardi di particelle per metro cubo, il che significa che un comune filtro attraversato dalla portata di 1 m<sup>3</sup>/s deve trattare tale numero di particelle ogni secondo. È possibile vedere a occhio nudo particelle con dimensione fino a 10 µm. Le particelle contenute nel fumo di tabacco, caratterizzate da dimensioni inferiori a 1 µm, possono essere viste a causa dell'altissima concentrazione di particelle ultrafini. In Figura 1.2 sono illustrate le dimensioni di alcuni comuni inquinanti.

I valori delle concentrazioni di molti comuni inquinanti in diversi luoghi o città possono essere reperiti sulle pagine web di organizzazioni governative. La scelta di un filtro dipende dalla qualità dell'aria esterna e dai requisiti di qualità dell'aria interna; la norma UNI EN 13779 (UNI, 2008a) definisce tre categorie di aria esterna: da ODA 1 (aria pura ad eccezione di inquinamento temporaneo, come nel caso di polline) a ODA 3 (aria molto sporca con concentrazioni elevate sia di gas che di particelle) e, come riferimento per la scelta dei filtri (cfr 4.4.2) indica quattro categorie di qualità dell'aria interna, da IDA 1 (alta) a IDA 4 (bassa).

## 1.2 - Requisiti per l'aria in ambienti confinati

Studi epidemiologici svolti in tutto il mondo hanno dimostrato che l'inquinamento dell'aria, anche a basso livello, produce effetti negativi sulla salute dell'uomo (cfr. 4.2). I contaminanti presenti in aria, quali le particelle (solide e liquide), il biossido di zolfo e di azoto e l'ozono, hanno seri effetti negativi sulla salute. Al momento le particelle sono considerate l'inquinante peggiore: esiste una chiara correlazione tra l'incremento di concentrazione di particelle di dimensioni inferiori a 2,5 µm e l'aumento di mortalità legato a malattie cardiovascolari e respiratorie. In Europa gli inquinanti presenti nell'aria interna e in quella esterna rappresentano la più importante causa di malattie legate all'ambiente.

Le persone trascorrono il 90% del proprio tempo in ambienti confinati e respirare aria salubre in questi luoghi è un loro diritto; per questo motivo, ogni gruppo, individuo o organizzazione che si occupi di edifici ha la responsabilità di fare tutto ciò che è possibile per raggiungere un'adeguata qualità dell'aria interna (WHO, 2000a). La filtrazione dell'aria può migliorare la qualità dell'aria interna e la produttività

degli occupanti, nonché ridurre i costi associati alla pulizia dell'edificio e dell'impianto di climatizzazione (cfr. 3.2).

La norma UNI EN 13779:2008 definisce i requisiti in termini di classe del filtro, allo scopo di garantire differenti qualità dell'aria interna in relazione alle diverse tipologie di aria esterna (cfr. 4.4). Nella maggior parte dei casi, l'obiettivo viene raggiunto adottando una filtrazione a due stadi con una classe di efficienza minima pari a F7 per il trattamento dell'aria esterna. Tuttavia, poiché la classe del filtro non è correlata con le prestazioni in sito, si dovrebbe specificare l'efficienza minima<sup>1</sup> secondo la UNI EN 779<sup>2</sup> (UNI, 2005), la raccomandazione EUROVENT 18 (EUROVENT, 2009) o una prova in sito effettuata da un laboratorio indipendente. In questo modo si ottiene il valore dell'efficienza minima durante la vita tecnica (in inglese, Minimum Life Efficiency, MLE), che rappresenta l'unica *efficienza che può essere garantita e controllata durante il funzionamento dell'impianto*.

I filtri andrebbero sostituiti per ragioni igieniche e gli intervalli di sostituzione potrebbero essere 2000 h per il primo stadio filtrante e 4000 h per il secondo (UNI, 2008a). I filtri andrebbero sostituiti in autunno dopo la stagione del polline e, per applicazioni che richiedono particolare attenzione, anche in primavera dopo la stagione invernale del riscaldamento, in modo da evitare il rilascio di odori da parte di sostanze organiche. L'umidità relativa, se possibile, dovrebbe essere mantenuta sempre sotto l'80% per evitare la crescita di microorganismi.

### 1.3 - Requisiti energetici

La resistenza al moto nei filtri per l'aria aumenta il consumo energetico del ventilatore ed è quindi indirettamente responsabile del cambiamento climatico globale. Non a caso, il piano delle Nazioni Unite per la riduzione delle emissioni e le Direttive Europee sul risparmio energetico favoriscono azioni mirate a ridurre la resistenza al moto e la quantità di energia utilizzata dai filtri: tale obiettivo va perseguito non solo nelle condizioni iniziali a filtro pulito, ma durante l'intera vita tecnica del filtro. Per soddisfare le Direttive e per ridurre la potenza specifica del ventilatore è necessario ridurre la resistenza al moto dei filtri ottimizzandone il progetto e il funzionamento. Attualmente la maggior parte delle unità trattamento aria è progettata per funzionare con valori di velocità dell'aria tra 2 e 3 m/s; riducendo la caduta di pressione in corrispondenza della quale si sostituiscono i filtri e la portata di aria che attraversa ciascuno di essi, si possono conseguire notevoli risparmi, sia in termini di energia che di denaro (cfr. 11.1.2).

Circa l'80% dell'impatto ambientale legato all'uso dei filtri è dovuto all'energia usata per vincere la resistenza al moto durante il funzionamento. Il costo dell'energia necessaria per il funzionamento del filtro può rappresentare l'80% del costo complessivo; il rimanente 20% è dovuto alla sostituzione del filtro, alla mano d'o-

---

<sup>1</sup> L'efficienza minima è quella misurata in una prova effettuata secondo la norma UNI EN 779 del 2005 (UNI, 2005), compresa l'efficienza del materiale filtrante neutralizzato (efficienza dopo la scarica).

<sup>2</sup> Nel 2012 è stata pubblicata la nuova versione della norma UNI EN 779 (UNI, 2012) che ha introdotto un nuovo sistema di classificazione. Per ulteriori informazioni, si veda l'Appendice a questo testo.

pera e al costo di smaltimento. Va però fatta attenzione a non compromettere la qualità dell'aria in ingresso negli ambienti riducendo l'efficienza dei filtri. Per minimizzare il consumo energetico senza penalizzare l'efficienza di rimozione sono importanti una corretta progettazione e una buona manutenzione dei filtri (cfr. 4.3).

I valori della portata di aria trattata dal filtro e delle cadute di pressione e gli intervalli di sostituzione vanno scelti sulla base delle variazioni di portata accettabili per l'impianto (cfr. 11.1.2), del costo associato al ciclo di vita (cfr. 11.4) o della valutazione del ciclo di vita (cfr. 11.5).

## 1.4 - Filtrazione dell'aria

Il progetto di un filtro deve essere un compromesso tra la struttura e la quantità di materiale filtrante che soddisfi costi, resistenza meccanica, resistenza al moto e durata. Al momento esistono sul mercato filtri caratterizzati da migliaia di differenti dimensioni e per migliorare la situazione si raccomanda l'utilizzo delle sole poche dimensioni contenute nella norma UNI EN 15805 (UNI, 2010a) e riportate nella tabella 7.1.

La rimozione dei contaminanti particellari è normalmente effettuata mediante materiali filtranti fibrosi. Il fattore determinante nel raggiungere efficienze più elevate è la presenza di fibre fini. Il vetro è il materiale che è stato più frequentemente usato per produrre fibre di diametro attorno a 1  $\mu\text{m}$  o di dimensioni inferiori. Lo sviluppo delle tecnologie produttive ha fatto velocemente grossi passi in avanti e oggi è possibile produrre materiali filtranti ad alta efficienza partendo da svariate sostanze a base di polimeri. L'efficienza iniziale può essere di molto migliorata nel caso in cui sulle fibre del materiale filtrante siano presenti cariche elettrostatiche in quantità significativa.

L'efficienza di rimozione complessiva di un filtro in funzione del diametro della particella è il risultato della somma di diversi meccanismi di filtrazione: diffusione, intercettazione, inerzia e forze elettrostatiche (cfr. 5). Esiste una determinata dimensione della particella che un filtro ha più difficoltà a catturare o da cui viene più facilmente attraversato, che è detta *dimensione della particella di massima penetra-*

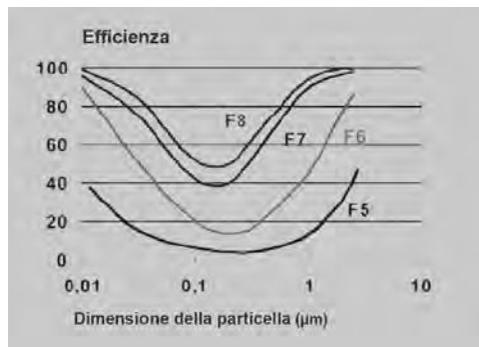


Figura 1.3 - Efficienza in funzione della dimensione della particella di diversi filtri per particelle fini. Da (Hanley, 1993).

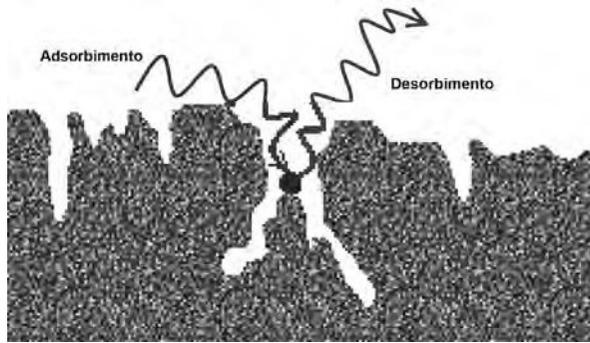


Figura 1.4 - Adsorbimento fisico all'interno di un adsorbente. Il desorbimento può essere evitato mediante impregnazione chimica.

zione, Most Penetrating Particle Size (MPPS). L'efficienza minima dei filtri per gli impianti di climatizzazione dipende dalla velocità dell'aria e dal tipo di materiale filtrante; generalmente è compresa tra 0,1 e 0,3  $\mu\text{m}$ , come mostrato in Figura 1.3.

La rimozione dei contaminanti aeriformi è di solito effettuata mediante adsorbimento fisico e/o adsorbimento chimico. Si usano varie tipologie di carbone attivato, a secco e in forma granulare, che può essere non trattato o impregnato chimicamente, ossido di alluminio, gel di silice e zeoliti (cfr. 8.2). Il carbone attivato è il materiale più comune che offre una grande e accessibile area superficiale per unità di volume (fino a 1400  $\text{m}^2/\text{g}$ ). L'efficienza e la durata di un adsorbente dipendono dalla sua area superficiale totale, cioè dalla superficie complessiva dell'adsorbente solido poroso che si estende all'interno del solido ed è accessibile all'inquinante.

L'adsorbimento fisico implica interazioni piuttosto deboli tra la superficie adsorbente e la molecola di inquinante. Il processo è reversibile e il desorbimento può avvenire in funzione di concentrazione, temperatura e interazione con altri gas, come mostrato in Figura 1.4.

L'adsorbimento chimico comporta reazioni chimiche irreversibili che si verificano a valle dell'adsorbimento fisico (cfr. 8.1).

I metodi per la prova dei filtri per inquinanti aeriformi sono molto complessi, in quanto vanno specificati il tipo e la concentrazione di gas, le condizioni ambientali e gli strumenti di misura. Il comportamento dei filtri per inquinanti aeriformi durante il loro funzionamento è difficilmente prevedibile perché dipende da temperatura, umidità relativa dell'aria, tipo e concentrazione dell'inquinante. Esistono anche forti interazioni tra differenti inquinanti.

## 1.5 - Classificazione dei filtri

La norma UNI EN 779 (UNI, 2005) include la misura dell'efficienza di rimozione particellare e un sistema di classificazione basato su filtri intasati con polvere sintetica ASHRAE iniettata ad alta concentrazione. La classificazione, sintetizzata in Tabella 1.1, si basa su filtri con dimensione frontale normalizzata (610 mm x 610 mm) provati alla portata di 0,944  $\text{m}^3/\text{s}$ . Nel caso dei filtri per particelle fini (classe F), il

Tabella 1.1 - Classificazione dei filtri per aria ( $0,944 \text{ m}^3/\text{s}$ ) secondo UNI EN 779 (UNI, 2005)<sup>3</sup>.

Tipo di filtro	Classe secondo EN 779	Efficienza in massa media ( $A_m$ ) misurata con polvere sintetica, (%)	Efficienza media ( $E_m$ ) per particelle con dimensioni $0,4 \mu\text{m}$ , (%)	Resistenza al moto finale, (Pa)
Grossolano	G1	$50 < A_m < 65$	-	250
	G2	$65 < A_m < 80$	-	250
	G3	$80 < A_m < 90$	-	250
	G4	$90 < A_m$	-	250
Fine	F5	-	$40 < E_m < 60$	450
	F6	-	$60 < E_m < 80$	450
	F7	-	$80 < E_m < 90$	450
	F8	-	$90 < E_m < 95$	450
	F9	-	$95 < E_m$	450

Il sistema di classificazione usa la media dei valori di efficienza in corrispondenza della dimensione  $0,4 \mu\text{m}$ , misurati lungo l'intero processo di intasamento artificiale, fino a una caduta di pressione così alta da non essere realistica (450 Pa). Nel caso dei filtri per particelle grandi si valuta l'efficienza di rimozione (efficienza in massa) misurando la massa di polvere sintetica catturata dal filtro in prova; la procedura viene ripetuta fino a raggiungere la caduta di pressione finale pari a 250 Pa (cfr. 6.2). I risultati così ottenuti non possono essere utilmente adoperati per valutare le prestazioni dei filtri durante il loro effettivo funzionamento, in quanto le cadute di pressione finali sono alte a tal punto da non essere realistiche e le efficienze e le capacità di accumulo della polvere sono fuorvianti.

I filtri ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA) sono classificati sulla base dell'efficienza minima in corrispondenza della dimensione della particella di massima penetrazione (cfr. 6.2.2).

Lo standard ANSI/ASHRAE 52.2 (ASHRAE, 2007) prescrive la misura dell'efficienza di rimozione particellare sul filtro pulito e poi intasato con polvere sintetica ASHRAE. Alla fine della prova al filtro viene attribuito un valore riportato di efficienza minima, Minimum Efficiency Reporting Value (MERV). Il MERV, definito su una scala a 16 punti, è basato sull'efficienza minima (media su alcuni intervalli di dimensioni delle particelle fissati dalla norma) che si misura durante l'intero processo di intasamento, come mostrato in Tabella 6.2.

Non esiste una diretta correlazione tra i risultati forniti dai metodi descritti nelle norme UNI EN 779 (UNI, 2005)<sup>4</sup> e ASHRAE 52.2 (ASHRAE, 2007). In Tabella 6.3 è riportato un tentativo di conversione tra i due sistemi di classificazione.

La polvere artificiale usata durante la prova non è rappresentativa del pulviscolo

<sup>3</sup> La UNI EN 779 è stata revisionata e la nuova versione, pubblicata nel 2012 prevede un diverso sistema di classificazione riportato nell'Appendice a questo testo.

<sup>4</sup> La versione attuale della norma (UNI, 2012) non è cambiata.

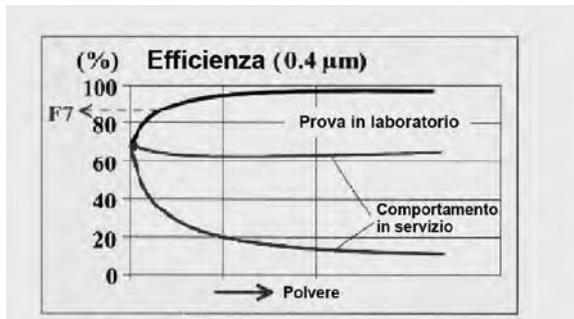


Figura 1.5 - Esempio di comportamento di filtri intasati in laboratorio con polvere artificiale raffrontato al caso di filtro esposto ad aerosol atmosferico durante l'effettivo funzionamento: differenza dell'andamento dell'efficienza in funzione dell'intasamento.

atmosferico e la concentrazione usata durante l'intasamento accelerato è circa 1000 volte superiore a quella reale; di conseguenza, i valori di efficienza e di capacità di accumulo della polvere ottenuti in laboratorio non possono essere usati per fornire informazioni quantitative sulle prestazioni dei filtri durante il loro funzionamento (cfr. 9.2). Esiste una grande discordanza tra le prove di laboratorio e le effettive prestazioni in sito: in laboratorio, infatti, l'efficienza aumenta rapidamente con l'intasamento mediante polvere artificiale.

Numerosi studi hanno dimostrato che i filtri con materiale dotato di cariche elettrostatica perdono la propria efficienza quando sono esposti ad aerosol atmosferici fini. In Figura 1.5 è illustrato il caso di un filtro con efficienza media ottenuta in laboratorio pari a 85% e conseguente classificazione come filtro F7. Durante il funzionamento, quando il filtro si trova esposto al pulviscolo atmosferico, l'efficienza potrebbe rimanere all'incirca costante o anche diminuire in modo sostanziale, in funzione della quantità di carica elettrostatica presente sul materiale filtrante di partenza.

Le misure sui filtri durante il loro effettivo funzionamento sono il modo più efficace per verificarne le prestazioni. Negli impianti di climatizzazione dotati di filtri di classe Fine (F) è quindi utile, talvolta obbligatorio, misurare e controllare l'effettiva efficienza di rimozione delle barriere filtranti (cfr. 6.3); analizzando i campioni prelevati con filtri a membrana mediante un microscopio a scansione elettronica è anche possibile determinare il tipo e la composizione delle particelle.

Un'altra soluzione veloce ed efficace per valutare il comportamento effettivo del filtro consiste nel misurare l'efficienza del materiale o del filtro privati della carica elettrostatica, così come descritto nella norma UNI EN 779 (UNI, 2005). Il valore così ottenuto indica l'efficienza minima che si può verificare (Minimum Life Efficiency o MLE) durante la vita tecnica nell'impianto. La norma prescrive l'effettuazione di questa misura<sup>5</sup>, tuttavia molti produttori di filtri non mostrano que-

<sup>5</sup> La versione della norma UNI EN 779 attualmente vigente (UNI, 2012) prescrive un valore minimo di efficienza per i filtri di classe F7, F8 e F9. Per ulteriori informazioni si faccia riferimento all'Appendice di questo testo.

sti dati e tale misura non è neppure inclusa nella certificazione EUROVENT<sup>6</sup> dei filtri per aria (cfr. 12). Di conseguenza nello specificare l'efficienza richiesta ai filtri, oltre alla loro classe, si dovrebbe richiedere anche il valore minimo di efficienza del filtro durante il funzionamento<sup>7</sup> (cfr. 1.1.1).

Le particelle catturate in precedenza dal filtro possono ritornare nuovamente nel flusso d'aria. Durante il ciclo di vita di un filtro in servizio è probabile che avvengano, almeno in parte, i seguenti fenomeni: rilascio (re-entrainment) di particelle catturate in precedenza, urto elastico di particelle contro le fibre (bouncing), dispersione (shedding) di fibre del materiale filtrante. Questi fenomeni possono essere chiaramente avvertiti nel caso di filtri a bassa efficienza, mentre sono di solito trascurabili nel caso di filtri con efficienza più elevata, specie se si fa riferimento al quantitativo totale di polvere raccolto dai filtri usati nelle comuni applicazioni per aria esterna (cfr. 9.2.2).

## **1.6 - Considerazioni igieniche sui filtri d'aria**

I filtri dell'aria in mandata impediscono che la parte dell'unità trattamento aria a valle e le superficie interne dei canali si sporchino; inoltre, riducono la concentrazione di particelle nell'aria (cfr. 10.1). Tuttavia, possono anche degradare la qualità dell'aria interna, in particolare la qualità dell'aria percepita. Spesso i filtri sono considerati il problema, ma in realtà il problema sono gli inquinanti: i filtri sono parte della soluzione e un'adeguata scelta del filtro in funzione delle condizioni di funzionamento elimina o rende non significativo qualsivoglia effetto negativo legato ai filtri di aria.

Inizialmente i filtri nuovi hanno un impatto trascurabile, dopo pochi giorni di off-gassing a basso livello. Tuttavia, numerosi studi sostengono che i filtri sporchi possono avere un effetto negativo sulla percezione della qualità dell'aria interna, sia a breve sia a lungo termine. Ciò può aumentare l'incidenza della Sindrome da Edificio Malato, Sick Building Sindrome (SBS), e influenzare negativamente la produttività dei lavoratori. Gli effetti sulla qualità dell'aria percepita dovuti al carico di inquinanti presenti sul filtro sono dello stesso ordine di grandezza dell'inquinamento causato dagli occupanti.

Alcuni studi recenti hanno indicato che una combinazione di filtri per particelle e di carbone attivato migliorano l'accettabilità dell'aria filtrata. Questi filtri possono sostituire quelli esistenti e mantenere l'efficienza di rimozione delle particelle e la resistenza al moto dei filtri comuni; inoltre, potrebbero rimuovere gli inquinanti odorosi e fornire un valore aggiunto, rimuovendo anche una frazione significativa di ozono dal flusso d'aria. Ciò comporta un miglioramento della qualità dell'aria con poche o nessuna modifica all'impianto di climatizzazione esistente.

Il deterioramento nel tempo della qualità dell'aria è minimizzato se i filtri sono sostituiti frequentemente.

---

6 EUROVENT: Associazione Europea dei produttori di componenti per il trattamento dell'aria e la refrigerazione.

7 La versione della norma UNI EN 779 attualmente vigente (UNI, 2012) prescrive un valore minimo di efficienza per i filtri di classe F7, F8 e F9. Per ulteriori informazioni si faccia riferimento all'Appendice di questo testo.

I microorganismi saranno sempre presenti nell'aria e l'eliminazione di situazioni favorevoli alla loro crescita nell'impianto di climatizzazione è un modo efficace per controllare i contaminanti sotto forma di bio-aerosol. I filtri sull'aria di mandata catturano in modo efficace i microorganismi provenienti dall'aria esterna. I microorganismi trasportati dall'aria vengono raccolti continuamente nei filtri, dove non sopravvivono a lungo in condizioni di normale funzionamento. Tuttavia a livelli elevati di umidità il rischio aumenta. Sebbene il filtro non sia una fonte di microorganismi, può avvenire il rilascio di particelle generate biologicamente da cellule microbiche in decomposizione o morte, il che causa il deterioramento della qualità dell'aria interna (cfr. 10.2).

Dal punto di vista igienico, è importante progettare la sezione di ingresso dell'aria onde evitare l'immissione di impurità e impedire che neve e pioggia entrino nell'impianto di ventilazione (cfr. 11.6). La configurazione della sezione di ingresso dell'aria, insieme al filtro, evita che gli inquinanti entrino nell'impianto di climatizzazione (cfr. 11.6). La progettazione appropriata della sezione di ingresso dell'aria, insieme alla scelta e alla manutenzione corretta dell'elemento filtrante e degli altri componenti dell'impianto di climatizzazione, può condurre al conseguimento di un buon ambiente interno (cfr. 8.5 e 11.1).

## **1.7 - Sostituzione**

Quando si sostituiscono i filtri, l'installazione deve essere accuratamente ispezionata per individuare perdite e altri problemi legati ai filtri. Una piccola perdita può non influenzare la classe del filtro ma permette il passaggio di inquinanti e microorganismi.

I filtri d'aria sporchi dovrebbero essere riposti con cura in sacchi di plastica, sigillati, etichettati e classificati secondo le Direttive Europee o la legislazione nazionale per lo smaltimento. Prima di installare i nuovi filtri, è necessario pulire, ispezionare e verificare che non ci siano perdite e altri problemi (cfr. 11.7).

Per quanto riguarda lo smaltimento, la legislazione sui rifiuti sotto forma di filtri d'aria sporchi deve seguire le Direttive Europee sul trattamento e classificazione. La maggior parte dei filtri sporchi è considerata combustibile e rifiuto organico da un punto di vista legale e dovrebbe essere incenerita. Ovviamente, la legislazione varia da Paese a Paese e localmente gli impianti di riciclaggio e incenerimento possono avere differenti criteri di accettabilità per i rifiuti (cfr. 11.8).

In riferimento alla certificazione (cfr. 12), EUROVENT gestisce un programma di certificazione per i filtri d'aria con il quale intende garantire che i filtri appartengano alla classe e siano caratterizzati da resistenza al moto misurate secondo la UNI EN 779 (UNI, 2005). L'efficienza in assenza di carica elettrostatica, sebbene inclusa nel metodo di prova, è stata esclusa e non fa parte della certificazione. I filtri certificati F7 da EUROVENT possono avere il 50% di efficienza per particelle con dimensione 0,4  $\mu\text{m}$  ma anche solo il 20% durante il funzionamento effettivo (cfr. 9).

Il Codice dell'Edilizia Nazionale finlandese è più esigente del programma di Certificazione EUROVENT, in quanto richiede che il fabbricante del filtro abbia

un sistema interno di qualità e che l'efficienza misurata dopo la rimozione della carica elettrostatica venga indicata nella scheda tecnica del fabbricante.

L'Istituto Tecnico Svedese SP promuove un sistema di etichettatura P sotto forma di programma di certificazione che intende garantire la qualità del filtro in laboratorio e in produzione, così come nella realtà. Per esempio, un filtro di classe F7 etichettato P deve garantire un'efficienza minima del 50% per le particelle con dimensione 0,4  $\mu\text{m}$  nel corso di una prova con aria esterna che dura 6 mesi.

## **1.8 - Lista di controllo per la filtrazione dell'aria**

Scegliere un filtro d'aria non è un lavoro facile, non solo in riferimento all'efficienza e al prezzo. Per aiutare nella progettazione e nella scelta degli impianti di filtrazione d'aria, alla fine di questa Guida è riportata una Check List (cfr. 13).

# GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

## LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

## AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

## SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito [www.aicarr.org](http://www.aicarr.org) e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Sebbene i filtri per aria siano presenti in ogni impianto di climatizzazione, spesso la loro scelta viene effettuata senza soffermarsi in modo adeguato sulle loro effettive prestazioni. Tale atteggiamento è forse legato alla difficoltà nel reperire facilmente le informazioni e i dati necessari per comprendere i principi alla base del funzionamento dei dispositivi che contribuiscono a garantire la purezza dell'aria negli impianti di climatizzazione. Spesso le informazioni disponibili sui filtri si riducono a tabelle con indicazioni sulla "classe", precisando poco o nulla in merito all'insieme di grandezze che invece ne caratterizza il funzionamento. Ciò può essere spiegato riconoscendo che la filtrazione dell'aria è un argomento molto tecnico che affonda le sue radici nella "scienza degli aerosol", disciplina ancora poco diffusa in Italia.

La Guida REHVA sulla filtrazione dell'aria negli impianti di climatizzazione intende contribuire a colmare le lacune sopra evidenziate. Si propone come testo specialistico per aiutare progettisti e utenti finali a comprendere il contesto e i principi su cui poggiare la scelta e l'uso dei filtri per gli impianti di climatizzazione. Nella Guida si affrontano anche alcuni argomenti connessi al funzionamento dei filtri, quali gli inquinanti presenti nell'aria, la qualità dell'aria negli ambienti interni, l'igiene degli impianti di climatizzazione e il consumo energetico associato alla filtrazione dell'aria.

*Paolo Tronville è Professore Associato di Fisica Tecnica Ambientale e svolge la sua attività di ricerca su purificazione e qualità dell'aria presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, dove si è laureato in Ingegneria Meccanica e ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Energetica.*

*È attualmente Chairman dei comitati tecnici ISO/TC142 "Cleaning equipment for air and other gases" (dal 2005) e CEN/TC195 "Air filters for general air cleaning" (dal 2006), nonché esperto in numerosi gruppi di lavoro. Negli Stati Uniti è membro votante di alcuni comitati tecnici, contribuendo alla redazione di standard e guide ASHRAE. Ha pubblicato articoli su riviste tecniche e scientifiche sia in Europa che negli Stati Uniti. Attualmente si occupa di applicare la simulazione fluidodinamica per la progettazione di materiali ed elementi filtranti e di sviluppare nuovi metodi di prova atti a caratterizzarli.*

*La sua tesi di laurea ha ricevuto la segnalazione della Giuria per il premio AICARR e nel 2012 ha ricevuto dall'UNI il prestigioso premio "Paolo Scolari" per l'impegno nell'attività di normazione nazionale, europea ed internazionale nel campo della pulizia e dell'igiene dell'aria.*

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, instal-

latori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.

AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione - [www.aicarr.org](http://www.aicarr.org)

CODICE FIL

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

ISBN 978-88-97323-24-2



Euro 23,00

Questo volume approvato dal Parlamento  
è da considerarsi copia "ACQUA CAMPIONE GRATUITO fuori commercio"  
(vendita e altri atti di disposizione vietati art. 17, c. 2, L. 633/1941).  
Esente da IVA (D.P.R. 26/10/1972, n. 633, art. 2, lett. b).  
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978, n. 627, art. 4, n. 6).

AUTORI VARI  
FILTRAZIONE DELL'ARIA  
NEGLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE  
ISBN 978-88-97323-24-2