

Il monitoraggio dei filtri

Come assicurare un'economica, sicura e adeguata manutenzione dei sistemi filtranti.



Negli ultimi dieci anni il settore della filtrazione ha compiuto dei passi da gigante nel campo delle tecnologie applicate. Con i progressi ottenuti nella produzione e nell'impiego di nuovi materiali come il tessuto-non tessuto, dei nuovi metodi pieghettatura e gli sviluppi di specifiche stratigrafie e dei rivestimenti in nanofibre, i filtri d'aria sono diventati più efficienti, affidabili e compatti. Nel frattempo, anche le richieste che il mercato rivolge verso il settore della filtrazione sono cambiate in modo risolutivo. L'efficienza di filtrazione e la capacità di ritenuta delle polveri non risultano oggi più le sole preoccupazioni a cui deve far riferimento lo specialista HVAC, ma viceversa l'impennata dei prezzi dell'energia e l'aumentata consapevolezza della sostenibilità ambientale dei prodotti hanno spostato l'attenzione, anche per le unità filtranti, verso il contenimento e la riduzione dei consumi energetici.

Potenziale e limiti della filtrazione dell'aria

Nel 2016, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha pubblicato un rapporto in materia di inquinamento atmosferico indicando che il 90 per cento della popolazione mondiale rimane esposta a livelli superiori rispetto ai limiti massimi suggeriti dalla stessa OMS.

In questa situazione risulta dunque evidente che la tecnologia della filtrazione dell'aria giochi un ruolo cruciale nel provare a ridurre in modo sostanziale questa non desiderata elevata percentuale di persone esposte.

Per tornare al tema, va detto subito, che un filtro risulta funzionale soltanto quanto la sua condizione di esercizio risulta tale.

Filtri sporchi e/o intasati possono portare ad una diminuzione della portata dell'aria, ad una sostanziale perdita di efficienza energetica, ad un aumento della rumorosità dell'unità ventilate, e non di meno ad una riduzione delle proprie prestazioni di rimozione degli inquinanti, e non ultimo, alla possibilità di un loro danneggiamento irreversibile. Pertanto, diventa imperativo controllare lo stato dei filtri e sostituirli non appena questo diventi necessario.



Fig. 1 - Sensore di misura della pressione differenziale microtermico. La nuova tecnologia di misura combina la componente analogica del sensore con i circuiti di elaborazione del segnale digitale tramite un chip CMOS. Il sensore risulta idoneo anche per la misura della portata d'aria (Sensirion).

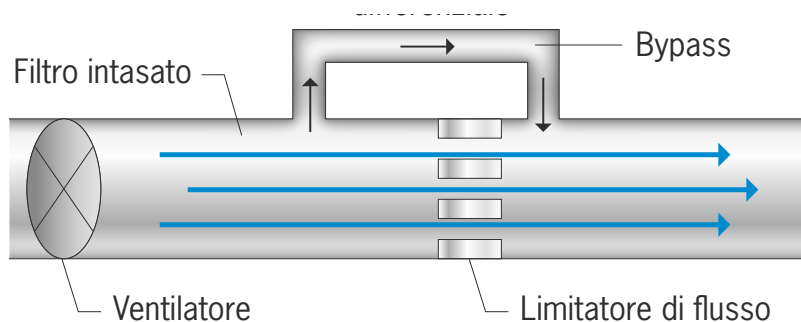


Fig. 2 - Principio di funzionamento del sensore di misura della pressione differenziale microtermico.

TAB. 1 MONITORAGGIO DEL FILTRO NELLE DIVERSE APPLICAZIONI.

Esempio	Ventilatore	Resistenza filtro	Resistenza circuito	Monitor filtro
Depurazione aria	N. di giri noto	Alta	Bassa e stabile	Sufficiente solo sensore di portata
Filtro bruciatore	N. di giri noto	Bassa	Alta, ma stabile	Sufficiente solo sensore pressione differenziale

Manutenzione di base

Nella maggior parte delle attività di manutenzione, i filtri vengono monitorati secondo una programmazione che prevede una data periodica fissa di controllo o di sostituzione. In questo modo nella maggior parte dei casi, le unità filtranti vengono sostituite spesso in ritardo rispetto alle loro diminuite capacità di rimozione degli inquinanti, riducendo così la sicurezza dell'intero processo, le sue prestazioni e in generale la sua efficienza energetica. A fronte di ciò, negli ultimi anni si è visto un passaggio graduale dalla manutenzione preventiva alla manutenzione predittiva. In questo caso speciali componenti (sensori) rilevano lo stato delle unità filtranti, e la manutenzione viene eseguita solamente quando si riscontra una diminuzione delle prestazioni o un guasto dell'unità. Questo nuovo approccio ha contribuito nel settore della filtrazione all'introduzione e alla commercializzazione di nuove tecnologie per il monitoraggio dei filtri.

Le recenti tecnologie

Quando un'unità filtrante si intasa, la sua resistenza al flusso d'aria aumenta. In un sistema in cui il flusso d'aria viene mantenuto costante, questo porta ad un aumento della pressione differenziale attraverso la sezione filtrante. Poiché i ventilatori di norma trattano meno aria quando i filtri risultano ostruiti, la conseguenza è di avere una variazione della portata d'aria quando le condizioni dei filtri passano da uno stato pulito ad uno ostruito.

Per determinare il valore del livello di intasamento del filtro, vengono utilizzate diverse tecnologie di sensori.

Sensori di pressione differenziale

I sensori di pressione differenziale rilevano la misura dalla deformazione di una membrana elastica. Questi sensori funzionano al meglio quando si ha una marcata caduta di pressione attraverso il filtro, e risultano viceversa poco sensibili di fronte a differenze di pressione minime o contenute. Inoltre l'affaticamento della membrana può causare fluttuazioni, fenomeno questo che risulta particolarmente fastidioso nel monitoraggio del filtro perché con un sensore instabile diventa poi difficile nella maggior parte dei casi comprendere prontamente le condizioni del filtro, specie in presenza di un lento processo d'intasamento del filtro.

Pressostati

I pressostati, che indicano quando viene superato un determinato valore di pressione. I pressostati non misurano dunque la differenza di pressione effettiva, rendendo con ciò impossibile stabilire un'analisi di tendenza della situazione.

Sensori di pressione differenziali microtermici

I sensori di pressione differenziali microtermici (figura 1) funzionano prelevando una piccola quantità di portata d'aria (bypassata), in modo da poterne poi determinare per confronto la differenza di pressione. In figura 2 è illustrato il principio di funzionamento. Inserendo un restringimento del flusso lineare (ad esempio, un filtro) si genera una differenza di pressione tra il punto d'ingresso e l'uscita del bypass. Misurando la caduta di pressione, cioè la differenza di pressione sul limitatore di flusso (filtro), si può determinare anche la portata d'aria nel condotto. Infatti la differenza di pressione si correla

Il particolato atmosferico e la nuova norma ISO

I requisiti necessari per una corretta progettazione del sistema di filtrazione sono numerosi, di cui vale la pena sottolineare la natura, la tipologia e la concentrazione dei contaminanti da rimuovere.

L'inquinamento atmosferico, pur nella sua variegata complessità, si distingue per la presenza di un preciso agente di riferimento: il particolato. Il particolato atmosferico è un insieme di particelle, solide e liquide, con una grande varietà di caratteristiche fisiche, chimiche, geometriche e morfologiche. E' di norma costituito da particelle di polvere, fumo, microgocce di sostanze liquide denominato in gergo tecnico aerosol: esso, infatti, è un insieme di particolati, ovvero particelle solide e liquide disperse nell'aria con dimensioni relativamente piccole.

Un aerosol è definito nella sua forma più semplice come una collezione di particelle solide o liquide sospese in un gas, mentre il termine particolato (PM, Particulate Matter o Materia Particolata, cioè in piccole particelle) individua l'insieme dei corpuscoli di tale miscela. Con particolato atmosferico si fa riferimento al complesso e dinamico insieme di particelle, con l'esclusione dell'acqua, disperse in atmosfera per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto

La sigla PM₁₀ identifica una delle numerose frazioni in cui viene classificato il particolato, il cui diametro aerodinamico (ovvero corrispondente al diametro di un'ipotetica sferetta di densità uguale a 1 g/cm³ ugualmente veicolata dall'aria) è uguale o inferiore a 10 µm, ovvero 10 millesimi di millimetro. Queste particelle sono raccolte con un sistema di selezione avente efficienza stabilita dalla norma (UNI EN12341/2001) e pari al 50% per il diametro aerodinamico di 10 µm.

Considerazioni analoghe valgono per il PM_{2,5} (UNI EN14907/2005) e il PM₁.

A fronte dunque di un'opinione pubblica ormai abituata a riconoscere l'inquinamento atmosferico attraverso le sigle PM, si è pensato, per rendere meglio comprensibile ed uniforme anche ai non addetti ai lavori, di associare l'efficienza di filtrazione con le reali capacità del filtro di abbattere il particolato atmosferico.

Così da quasi ormai un anno è entrata in vigore la norma UNI EN ISO 16890 che ha cambiato il metodo di classificazione dei filtri in virtù anche delle attuali conoscenze scientifiche, normativa che per consentire un passaggio a queste nuove classificazioni va gradatamente a sostituire la UNI EN 779:2012 (sarà ritirata a giugno). La speranza poi, è che diventi possibile armonizzare il panorama mondiale dei test sui filtri anche con la normativa nordamericana indicata dall'Ashrae 52.2.

La nuova norma rende più semplice associare l'efficienza di filtrazione con le reali capacità del filtro di abbattere il particolato atmosferico, la cui concentrazione come detto viene espressa secondo le frazioni PM₁₀, PM_{2,5} e PM₁, che rappresentano la frazione respirabile e quindi direttamente associabile a molte delle problematiche respiratorie indotte dall'inquinamento atmosferico.

L'innovazione più evidente è la possibilità di classificare i filtri in funzione di due macro classi di distribuzioni dimensionali dell'aerosol tipo preso come riferimento: aerosol rurale (PM₁₀) e urbano (PM_{2,5} e PM₁). Per la classificazione dei filtri vale il prospetto della tabella sottostante, dove ePM_{x,min} descrive l'efficienza di un "air cleaning device" nei confronti di particolato avente diametro compreso tra 0,3 µm e x µm.

CLASSIFICAZIONE FILTRI SECONDO LA NORMA ISO 16890.

Designazione di gruppo	Requisito minimo			Valore dichiarato
	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	
ISO Coarse	-	-	< 50%	Eff. gravimetrica iniziale
ISO ePM ₁₀	-	-	≥ 50%	ePM ₁₀
ISO ePM _{2,5}	-	≥ 50%	-	ePM _{2,5}
ISO ePM ₁	≥ 50%	-	-	ePM ₁

con la portata d'aria del condotto, in relazione alle caratteristiche specifiche dell'elemento limitatore di flusso

Dotati di un'ottima stabilità e precisione a lungo termine, anche con portate d'aria prossime allo zero, superano le altre tecnologie nella maggior parte delle applicazioni e sono particolarmente adatti per filtri che operano con basse pressioni differenziali. Viceversa a causa del flusso d'aria bypassato, non possono essere utilizzati in una sezione filtrante quando questa deve necessariamente assicurare in toto la sterilizzazione e la sicurezza della qualità dell'aria. Possibili default delle misurazioni dovuti alla polvere indotta possono essere prevenuti attraverso uno speciale condotto di accesso, un posizionamento attento del sensore e l'utilizzo di algoritmi.

Sensori di flusso

I sensori di flusso misurano la portata d'aria. Ci sono casi (figura 3)

in cui la conoscenza della portata d'aria fornisce informazioni più precise in merito allo stato del un filtro rispetto alla sola misura della pressione differenziale. Poiché sensori di portata d'aria di solito sono posizionati dopo la sezione filtrante, è possibile utilizzare anche in questi casi la tecnologia microtermica evitando la necessita di impiegare ulteriori precauzioni contro la formazione di polvere.

Altri metodi di monitoraggio

In definitiva è possibile affermare che un monitoraggio completo del filtro lo si può ottenere quando vengono misurate entrambe le due variabili, ovvero sia la caduta di pressione e sia la portata d'aria.

Esistono altri metodi di monitoraggio, come i sistemi ottici, attraverso i quali viene misurata la decolorazione di un filtro, e sensori che misurano la concentrazione di polvere basandosi sull'effetto

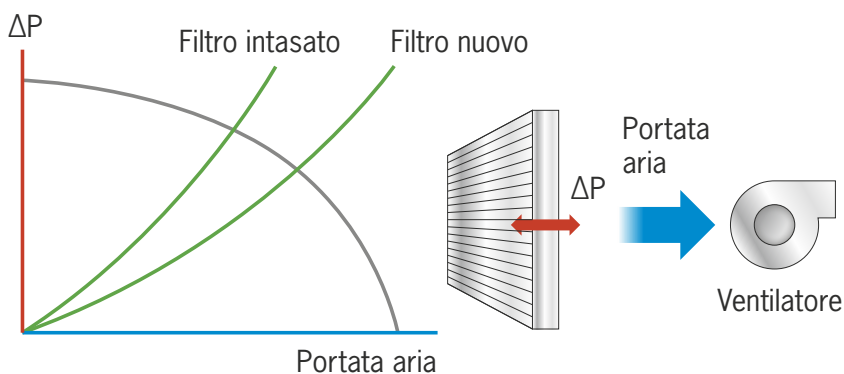
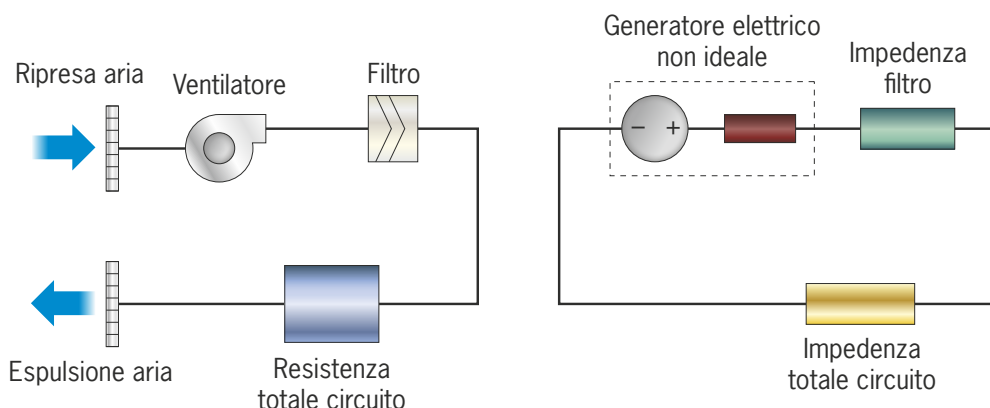


Fig. 3 - Grafico che rappresenta l'andamento della pressione differenziale (ΔP) e della portata d'aria per filtro nuovo e intasato. Le curve evidenziano che un filtro parzialmente ostruito impatta in modo maggiore sulla diminuzione della portata d'aria.

Curva caratteristica della portata d'aria con velocità costante del ventilatore

Fig. 4 - Similitudine tra un circuito ad aria con filtro e il rispettivo circuito elettrico.



triboelettrico. Questi sistemi di misurazione sono comunque complessi e costosi e pertanto, risultano poco adatti ad un impiego diffuso o su vasta scala.

Il circuito del flusso d'aria

Dando uno sguardo più dettagliato ai sistemi in cui viene utilizzata la filtrazione è più facile comprenderne la variabilità e la conseguente logica di adattamento. Di base, tutti gli impianti hanno una sorgente con il compito di movimentare un flusso d'aria (ad esempio, un ventilatore), un limitatore di flusso (o impedenza) costituito da un filtro, e un'altra resistenza (o limitazione del flusso) che è possibile assegnare a tutte le restanti parti del circuito aerulico. Questo semplice schema ben sia adatta ad essere paragonato ad un circuito elettrico costituito da un (non ideale) generatore di tensione e due resistenze elettriche (figura 4).

Con questo modello, si possono studiare così tre diverse situazioni:

- Se la resistenza (impedenza) del filtro è alta e invece quella restante del circuito risulta bassa e costante, una variazione della resistenza del filtro porterà in modo preminente ad una variazione della portata d'aria. In questo caso, potrebbe essere sufficiente controllare la portata d'aria, magari attraverso un sensore posizionato semplicemente dietro il filtro, dove l'aria in uscita risulta già depurata.
- Se la resistenza (impedenza) del filtro è bassa e invece quella restante dell'impianto risulta alta, ma stabile, una modifica della resistenza del filtro porterà principalmente ad una variazione

della pressione differenziale misurata attraverso di esso. In questo caso, potrebbe essere sufficiente misurare la differenza di pressione a cavallo del filtro.

- Nelle due situazioni descritte, la velocità del ventilatore (numero di giri) dovrebbe essere costante o comunque nota, quindi la portata d'aria o la pressione differenziale possono essere valutati in relazione alla velocità di rotazione del ventilatore.
- Se la resistenza (impedenza) del sistema è viceversa variabile o la velocità del ventilatore è variabile e non determinata, la portata d'aria e la pressione differenziale dovrebbero essere conosciuti per avere sufficienti informazioni di diagnostica dello stato del filtro (tabella 1).

Impianti complessi

Per gli impianti complessi, non esiste un'unica soluzione in grado di monitorare con successo il processo di filtrazione. La diversità delle applicazioni e la complessità dei sistemi richiedono diverse configurazioni di monitoraggio.

Un pressostato potrebbe essere una soluzione adeguata per impianti molto semplici, ma risulta invece non sufficiente appena un sistema diventa più complicato e utilizza delle unità ventilanti a velocità variabile o con bassa, o variabile resistenza al flusso d'aria.

La misurazione della pressione differenziale a cavallo del filtro o della portata d'aria a valle dello stesso e la capacità di correlare queste misure di fronte al cambiamento della velocità dell'unità ventilante, sono necessari per un controllo accurato del funzionamento dell'unità

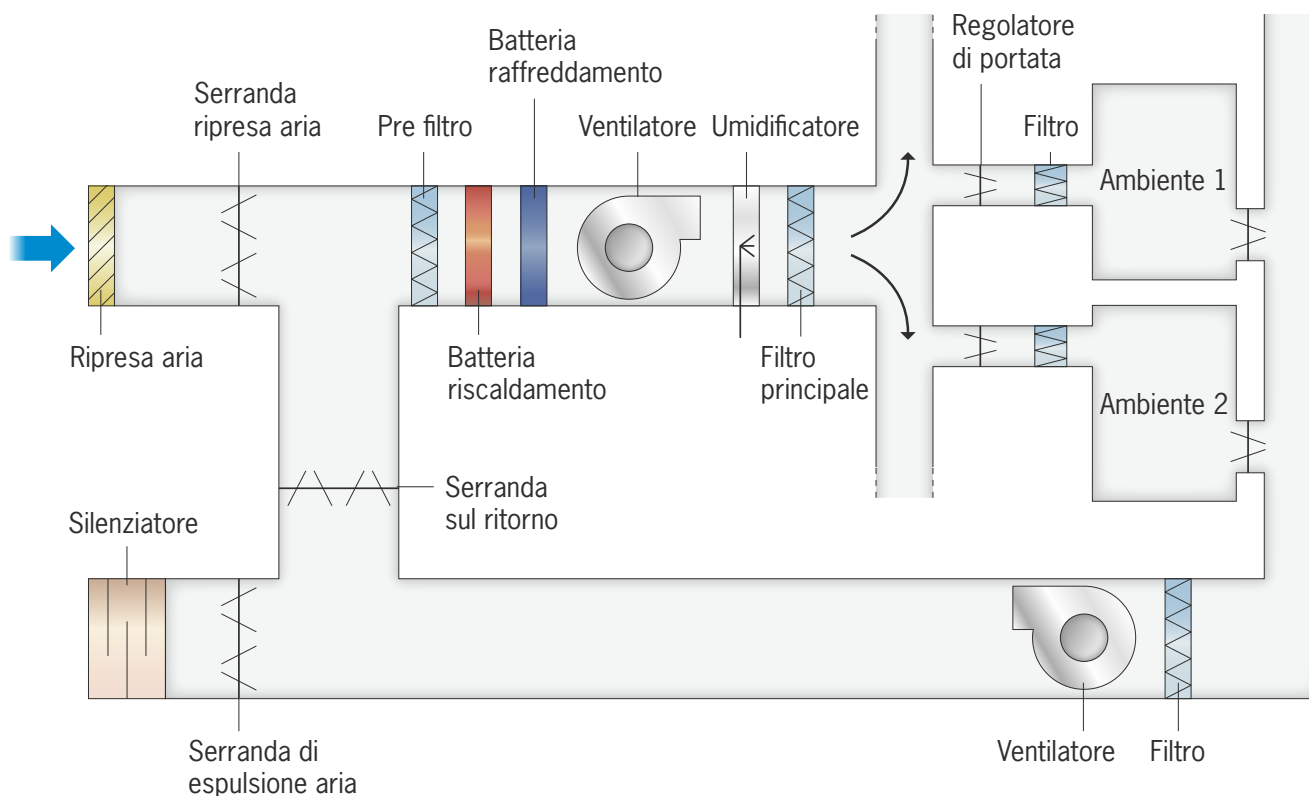


Fig. 5 - Sistema complesso di un circuito aeraulico.

filtrante. Un controllo più preciso ed accurato sullo stato del filtro, tuttavia, può essere solamente effettuato quando sono noti sia la portata d'aria reale e la pressione differenziale. Nei sistemi complessi con carichi variabili e filtri multipli, questa è l'unica soluzione per assicurare un monitoraggio accurato delle sezioni filtranti (figura 5). Il vantaggio di misurare sia la pressione differenziale e sia la portata d'aria direttamente nel circuito è che si può fare a meno di conoscere le informazioni dell'unità ventilante (ad esempio, giri al minuto, assorbimento di corrente, potenza) per determinare la resistenza del filtro. In più, le informazioni fornite da un sensore di portata d'aria possono poi essere usate per compensare le deviazioni di prestazioni del ventilatore.

Le letture dettagliate delle misure attraverso due sensori danno anche la possibilità di ottenere ulteriori funzionalità. Con la registrazione dei dati nel corso del tempo, è possibile valutare la tendenza temporale di intasamento del filtro e determinare così una data stimata per la sostituzione.

Inoltre, le misurazioni dettagliate e precise, oltre a creare uno storico delle serie temporali, consentono in alcuni casi di prevenire malfunzionamenti e altri guasti dell'impianto (figura 5).

In molti casi, le letture del sensore possono essere anche utilizzate per migliorare il controllo e aumentare la funzionalità dell'intero sistema. I dati rilevati della portata d'aria, in particolare, danno spesso un'utilità che va ben oltre il solo controllo del filtro.

Configurazione con tubo di pitot

In un'applicazione in cui la velocità di scorrimento dell'aria è sufficientemente elevata, la pressione differenziale può essere misurata tra una presa/rubinetto posta perpendicolare alla direzione del flusso

a monte di un filtro ed un tubo di pitot posizionato valle dello stesso. La pressione all'ingresso del tubo di pitot è data dalla pressione dinamica più la pressione statica ed è quindi superiore alla pressione misurata nella presa a monte.

Questo crea una lettura della pressione differenziale invertita, con la lettura di una pressione maggiore al tubo di pitot (figura 7).

l'intasamento del filtro comporta in questo caso man mano ad una riduzione della differenza di pressione misurata.

La soluzione con sensori

Di seguito vengono riportate le caratteristiche fondamentali per i sensori di pressione differenziale e di portata d'aria utilizzati per il monitoraggio delle unità filtranti:

- Un'eccellente stabilità a lungo termine, assicurano che la sostituzione dei filtri avvenga solamente quando risulti necessaria, piuttosto che a causa di una misurazione non corretta
- Per i sistemi con ventilatori a velocità variabile, consentono un'alta gamma dinamica di misure.
- Una elevata precisione alle basse portate e pressioni differenziali, per esempio con filtri ad alta tecnologia che di norma hanno piccole cadute di pressione.
- La possibilità di compensare i valori di temperatura e di pressione, per esempio quando le prestazioni del filtro e della pressione differenziale della sezione filtrante dipendono dalla temperatura dell'aria e dalla pressione ambiente.
- La capacità di acquisizione dei dati, così da semplificare l'analisi di tendenza attraverso un sistema di (micro) controllo. Tutti questi requisiti sono soddisfatti dai sensori di pressione differenziale microtermici. Con questi sensori, lo stesso modello può essere