

“La decontaminazione dell'aria indoor per mezzo di filtri chimico-fisici”

All'interno degli edifici, l'aria è contaminata da centinaia di molecole diverse; per abbatterle efficacemente è necessario ricorrere a filtri che utilizzano più meccanismi d'azione contemporaneamente

E' un fatto ormai ampiamente risaputo, almeno tra gli "addetti ai lavori", che nell'atmosfera degli ambienti nei quali passiamo gran parte della nostra vita, a casa o sul lavoro, albergano centinaia di contaminanti diversi. Sostanzialmente ci troviamo di fronte a particelle che appartengono ai tre Regni fondamentali della Natura: Animale, Vegetale e Minerale. Aerosol che veicolano batteri, virus e spore; vapori di sostanze organiche ed inorganiche, gas più o meno velenosi ed irritanti: una falange aggressiva che si può sconfiggere solo con metodi complessi e relativamente impegnativi. In questa sede andremo ad esaminare le possibilità di intervento pratico (scelta dei filtri, dimensionamento, installazione, manutenzione).

Scelta dei filtri

Come si può vedere dalla tab.1, negli ambienti chiusi (o indoor o confinati, secondo le denominazioni correnti), possiamo avere la presenza contemporanea di contaminanti di varia natura. Per abbatterli efficacemente è necessario ricorrere a dispositivi che utilizzino più filtri differenti disposti in serie tra loro.

Un purificatore d'aria ideale dovrebbe essere composto dalle seguenti sezioni:

1. un prefiltro meccanico, in grado di fermare le particelle sospese più grossolane, fiocchi di polvere, capelli, peli, fibre vegetali;
2. un filtro elettrostatico oppure con media filtrante ad alta efficienza, destinato a bloccare le particelle respirabili (particolato, aerosol),

3. una camera di irraggiamento con lampade ad emissione ultravioletta (U.V. C), capace di sterilizzare l'aria in transito inattivando i contaminanti biologici;
4. un filtro adsorbente con carbone attivo per trattenere le sostanze organiche volatili;
5. un filtro chimico capace di reagire con le molecole non adsorbite efficacemente dal carbone (in genere vengono utilizzati granuli di allumina impregnata di permanganato di potassio);
6. un postfiltro in media filtrante con la funzione di trattenere particelle eventualmente rilasciate dagli stadi precedenti (polverino di carbone o allumina attivati).

In alcuni dispositivi commerciali, come stadio finale di finitura viene utilizzato un emettitore di ioni negativi, con la funzione di riequilibrare il bilancio ionico (per avere un'aria più "naturale" possibile non è sufficiente ripulirla dai contaminanti, ma occorre ricostituire l'equilibrio tra ioni positivi e negativi alterato da numerosi fattori presenti all'interno degli ambienti chiusi).

Un piano di intervento coerente imporrebbe di agire innanzi tutto sulle cause dell'inquinamento, attraverso un controllo delle fonti; l'esperienza insegna però come sia di fatto impossibile o estremamente difficile, agire su situazioni consolidate (è possibile intervenire efficacemente solo in sede di progetto iniziale dell'edificio, eventualità ancora piuttosto rara per quanto riguarda gli aspetti I.A.Q.). Quando il controllo delle fonti è problematico, si dovrà innanzi tutto cercare di intervenire con la ventilazione, attraverso l'immissione di aria esterna (nel caso di fonti d'inquinanti limitate e distribuite), oppure tramite estrazioni localizzate (nel caso di fonti ingenti e delimitate). Questi rimedi sarebbero in grado di limitare le concentrazioni di inquinanti al di sotto delle soglie di sicurezza, ammettendo di avere un'aria esterna di buona qualità. In caso contrario, il rischio è quello di sostituire un gruppo di inquinanti con un altro, oppure di aumentare il carico totale di contaminazione. Nelle condizioni medie reali di intervento, l'unica possibilità di controllare le concentrazioni di inquinanti nell'ambiente è rappresentata dalla filtrazione, sia dell'aria immessa dall'esterno che dell'aria di ricircolo.

Come si vede, la purificazione dell'aria indoor non è compito semplice da affrontare, tenendo conto della complessità del problema e delle oggettive limitazioni tecniche ed economiche che occorre considerare nelle applicazioni pratiche. In effetti, il professionista chiamato ad intervenire su un problema di *indoor air quality*, a volte di grave entità, in genere deve fare i conti con budget limitati e con impianti ed ambienti non predisposti all'inserimento dei dispositivi di filtrazione. Nella maggior parte dei casi si deve trovare una

soluzione di compromesso accettabile, tenendo conto delle specificità della nostra situazione nazionale: ad esempio, la maggior parte degli interventi ha per oggetto l'eliminazione del fumo di tabacco e degli odori, mentre la sensibilità per il problema I.A.Q. nel suo complesso è ancora limitata, anche se in rapida evoluzione. Perciò prenderemo in esame un metodo orientato a risolvere un problema caratterizzato da una presenza di fumo di tabacco, cioè in locali pubblici ed uffici dove varie ordinanze comunali non abbiano già vietato di fumare (la coabitazione tra fumatori e non fumatori resterà ancora per molto tempo un problema assai diffuso nel nostro Paese).

Sempre dalla tab. 1, si evince che il fumo di tabacco è fonte di emissione di gas e particolati inquinanti. Più precisamente, una sigaretta accesa libera circa 4700 molecole diverse: di queste, ne sono state caratterizzate quantitativamente 400. Di queste ultime, ben 43 sono considerate cancerogene. E' necessario inoltre considerare che queste sostanze non solo sono tossiche di per sé, ma sono anche in grado di agire sinergicamente con altri inquinanti, potenziandone l'azione.

Per quanto riguarda gli odori, esiste una grande variabilità soggettiva nella percezione, nonché una notevole capacità di adattamento nella maggior parte delle persone; tuttavia, riferimento per il progettista è la frazione di popolazione più sensibile, spia di una situazione di qualità dell'aria compromessa.

Come intervenire

Lo standard ASHRAE 62-1989 determina i tassi di ricambio necessari per assicurare il massimo livello di benessere degli occupanti, attraverso una azione di diluizione degli inquinanti: purtroppo si tratta di un approccio difficilmente praticabile, sia per la scarsa qualità dell'aria esterna, sia per i costi elevati che derivano dalla necessità di trattare termicamente imponenti volumi di ricambio. Nello stesso standard è però descritta una complessa procedura I.A.Q. che permette di controllare la concentrazione degli inquinanti attraverso l'uso combinato della ventilazione e della purificazione, contenendo l'apporto di aria esterna entro limiti accettabili.

Lo standard ASHRAE 62-1981-R descrive un approccio più semplificato. Per un approfondimento, impossibile in questa sede, è consigliabile un attento esame degli standard ASHRAE citati, nonché del prestandard europeo CEN/TC 156 "Ventilation for buildings".

Come indicazione generica, il sistema filtrante deve essere posto a valle della serranda di regolazione aria di ricircolo/aria esterna, prima della batteria di scambio termico: la serranda deve essere regolata per un apporto percentuale di aria esterna dal 5% al 20% massimo. In nessun caso è comunque

consigliabile scendere sotto i 15 m³/h per persona di aria esterna, mentre la quota di ricircolo per persona può variare dai 35 ai 100 m³/h a seconda della percentuale di fumatori. Inoltre, al di là di quanto prescritto dagli standards, è importante una attenta analisi del rapporto costo/benefici, in modo da potere offrire sempre il miglior sistema filtrante possibile per una data applicazione.

Intervento su impianto canalizzato

Caratteristiche dei filtri

Nella maggior parte dei casi si tratta di inserire un gruppo filtrante in un impianto preesistente: particolare attenzione andrà posta al calcolo delle perdite di carico introdotte (vedi tab. 4), in modo da dimensionare adeguatamente un nuovo gruppo ventilante.

Data la premessa, considerata la complessità della composizione del fumo di tabacco, si impone la scelta di un insieme di filtri, come indicato in tab. 1, composto da (in sequenza di attraversamento):

1. un filtro specifico per l'abbattimento del particolato respirabile, dotato di una efficienza di abbattimento dall'85% (ASHRAE dust-spot) al 95% (ASHRAE DOP) oppure EU 8-9. L'efficienza deve essere comunque valutata per particelle di 0,3 µm di diametro: avendo a disposizione filtri classificati secondo il metodo dust-spot, nella tab. 3 è possibile verificare l'efficienza frazionaria a 0,3 µm. Generalmente in questi casi si ricorre a filtri a tasche, oppure a filtri elettrostatici. Nella tab. 4 sono riportate comparativamente le caratteristiche per categoria. La scelta di un tipo piuttosto che un altro dipende dal tipo di impianto: l'elettrostatico è da preferire per portate complessive medio basse (1000 + 6000 m³/h), per installazioni in complessi domestico-residenziali o di ufficio. Un aspetto positivo di questa scelta è la limitata perdita di carico, sia iniziale che a fine vita operativa, che permette di limitare il dimensionamento del ventilatore a tutto vantaggio dei costi, dell'ingombro e del rumore. Per portate maggiori, i filtri a tasche posseggono un rapporto ingombro / volume d'aria trattato più favorevole. In ogni caso, è necessario anteporre un prefiltro EU 2-3 per aumentare la vita operativa di questi filtri, indipendentemente dalla tecnologia prescelta: utilizzando un elettrostatico, il prefiltro ha anche l'importante funzione di distribuire il flusso d'aria in modo omogeneo, in modo da evitare percorsi preferenziali dovuti alle limitate perdite di carico.
2. Una volta eliminati i particolati, rimane una importante frazione di gas e vapori: date le premesse (azione preponderante sul fumo di tabacco), in tab. 1 e in tab. 3 troviamo l'indicazione di usare una miscela di

carbone attivo ed allumina attivata con permanganato di potassio, in parti uguali. Tuttavia, l'impiego della miscela è consigliabile solo in presenza di problemi di ingombro o dovendo limitare le perdite di carico. Infatti diversi studi sperimentali hanno dimostrato che, utilizzando la stessa quantità di carbone e di allumina attivata, ma separate in due filtri successivi, la vita operativa diventa considerevolmente maggiore. Considerato il costo non trascurabile di questi materiali, è quindi consigliato l'utilizzo di cariche separate in sequenza, mentre la miscela è di solito impiegata nella realizzazione di apparecchi di purificazione dell'aria a sé stanti. Per quanto riguarda il dimensionamento dei filtri, a causa della grande variabilità delle caratteristiche dei media in commercio, non sempre le formule teoriche reperibili in letteratura forniscono dati soddisfacenti: è consigliabile utilizzare i metodi di calcolo reperibili presso i fornitori più qualificati, che tengono conto delle specifiche reali del prodotto utilizzato. A titolo di esempio, il software Mediapk (Purafil Inc.), permette di stabilire quantità e vita operativa dei media conoscendo la concentrazione dell'inquinante nell'aria da trattare. Per la scelta del carbone, è da preferire il tipo ottenuto da guscio di noce di cocco, con un indice di adsorbimento per il toluolo maggiore possibile. Il tempo di contatto è un indice molto importante per avere una resa ottimale: la sezione e la profondità del filtro devono essere tali da assicurare un tempo da uno a cinque decimi di secondo (questo vale anche per l'allumina attivata). In commercio si trovano pannelli che possono contenere da 9 a 40 kg di carbone o di allumina. La combinazione carbone attivo /allumina attivata con permanganato, al di là del fumo di tabacco, permette di abbattere efficacemente gli inquinanti chimici presenti sia nell'aria di ricircolo che nell'aria esterna. Le figg. 12 e 3 mostrano l'efficacia di adsorbimento ed assorbimento dei due media, da soli ed in combinazione, su sette sostanze campione di caratteristiche chimiche diverse: è evidente come i due spettri di attività siano complementari e sinergici. Inoltre è altrettanto evidente la convenienza dell'impiego di due pannelli separati in sequenza, anziché della miscela, fatte salve le considerazioni già esposte precedentemente.

3. I pannelli contenenti media granulare hanno la spiacevole tendenza a rilasciare una certa quota di polverino che deve essere efficacemente trattenuto da un postfiltro in media filtrante sintetica classe EU 2-3.

Manutenzione

Gli aspetti relativi alla manutenzione dei filtri vengono spesso disattesi, con il risultato di ritrovarsi con impianti non funzionanti o addirittura in condizione di rappresentare un pericolo per gli occupanti: non è

raro imbattersi in casi paradossali di diffusione di inquinanti da parte di filtri saturi, che sono tra le cause più diffuse della cosiddetta "Sindrome dell'edificio malato". La saturazione dei filtri è una eventualità da evitare assolutamente. Il mezzo più efficace di prevenzione è stipulare un contratto di manutenzione che preveda regolari interventi periodici di sostituzione dei filtri o di lavaggio nel caso di filtri elettrostatici. Ad ogni buon conto, è raccomandabile dotare il gruppo filtrante di un dispositivo di allarme in grado di segnalare la necessità di manutenzione. A questo scopo si possono usare pressostati differenziali tarati sulla massima perdita di carico ammissibile: in alcuni casi si utilizzano anche sensori elettronici rivelatori di particolato o di inquinanti gassosi a valle dei filtri. Per applicazioni particolarmente critiche sono disponibili sul mercato gruppi di filtrazione completamente automatici, che provvedono a mantenere costanti nel tempo le caratteristiche di abbattimento, per mezzo di un ricambio delle superfici filtranti (filtri a pannelli scorrevoli, a rullo), oppure autopulenti (elettrostatici autolavanti, a rullo con bagno d'olio). I filtri contenenti allumina attiva non sono rigenerabili e devono essere sostituiti, come del resto anche i carboni attivi, anche se non mancano esempi di parziale recupero dei carboni attraverso un lavaggio in aria pulita durante i periodi di inutilizzo dell'impianto. In questi casi, nelle ore notturne e nei fine settimana (dunque limitatamente ad impianti che servono ambienti di lavoro), sui filtri a carboni viene convogliata aria esterna pulita, mentre a valle dei filtri l'aria reflua viene espulsa all'esterno. Tuttavia, la convenienza di questa parziale rigenerazione è ancora da dimostrare, ammessa la disponibilità di aria esterna povera di inquinanti (localizzazioni extraurbane).

Fonte	Agenti	Filtri da impiegare
Suolo (crosta terrestre)	Radon (radioattività)	Elettrostatico, media ad alta efficienza (efficaci sulla progenie del Rn: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po)
Materiali da rivestimento (moquettes, tappezzeria)	Composti volatili organici, contaminanti biologici	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio, lampade U.V.
Arredamento	Formaldeide, composti volatili organici	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio
Rivestimenti in legno	Pentaclorofenolo, altri antiparassitari	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio
Materiali isolanti	Asbesto, fibre minerali, composti volatili organici	Elettrostatico, media ad alta efficienza, carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio
Apparecchi per combustione (fornelli, stufe, ecc.)	Gas (NO_x , SO_x , CO , O_3), idrocarburi policiclici, particelle respirabili	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio, elettrostatico, media ad alta efficienza
Prodotti per la pulizia della casa (spray)	Composti organici volatili, fluorocarboni	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio
Condizionatori, climatizzatori	Batteri, funghi, virus	Elettrostatico, lampade U.V.
Residenti, piante, animali domestici	Batteri, virus, funghi, pollini, bioescreti	Elettrostatico, lampade U.V.
Fumo di tabacco	Gas, idrocarburi policiclici, particelle respirabili, composti organici volatili	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio, elettrostatico, media ad alta efficienza
Acqua (rubinetti, docce)	Cloro, Radon, composti organici volatili	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio, elettrostatico, media ad alta efficienza
Aria esterna	Particelle, gas, contaminanti biologici, antiparassitari	Carbone attivo, allumina impregnata di permanganato di potassio, elettrostatico, media ad alta efficienza

Tab. 1. Combinazioni filtranti consigliate contro gli inquinanti degli ambienti confinati

Inquinanti	Carbone attivo/Allumina + $KMnO_4$	Rendimento % in peso
Nicotina	miscela C/A 33/67	20
Nitrosammine	miscela C/A 33/67	11,8
Idrocarburi policiclici aromatici	miscela C/A 33/67	20,8
Monossido di carbonio	non utilizzabile	0
Ossidi di azoto	miscela C/A 50/50	4,7
Acroleina	miscela C/A 33/67	10,8
Formaldeide	allumina + $KMnO_4$	1,4
Acido cianidrico	allumina + $KMnO_4$	1
Piridine	carbone attivo	20
Fumo di tabacco in toto	miscela C/A 50/50	11

Tab.2, Principali inquinanti gassosi emessi dalla combustione del tabacco e miscele adsorbenti/assorbenti consigliate

Efficienza ASHRAE 52-76 dust-spot, %	Eff. fraz. 3 μm , %	Eff. fraz. 1 μm , %	Eff. fraz. 0,3 μm , %
25-30	80	20	< 5
60-65	93	50	20
80-85	99	90	50
95	> 99	92	60
DOP 95	-	> 99	95

Tab.3, efficienze frazionarie dust spot e confronto con DOP 95%

Caratteristiche	Filtro elettrostatico	Filtro a tasche flosce	Filtro a tasche rigide (multidiedro)
Velocità frontale dell'aria	1-2 m/s	3,5 m/s	3,5 m/s
Perdita di carico a filtro pulito	35-70 Pa	80-120 Pa	100 Pa
Perdita di carico a filtro esaurito	50-100 Pa	200-400 Pa	300 Pa
Portata d'aria per modulo	1000-3500 m ³ /h	1700-4300 m ³ /h	2000-5000 m ³ /h
Profondità	200-300 mm	360-915 mm	300-400 mm

Tab.4, Caratteristiche a confronto dei filtri a tasche e dei filtri elettrostatici (per uso in impianto di condizionamento canalizzato, classe EU 8-9)

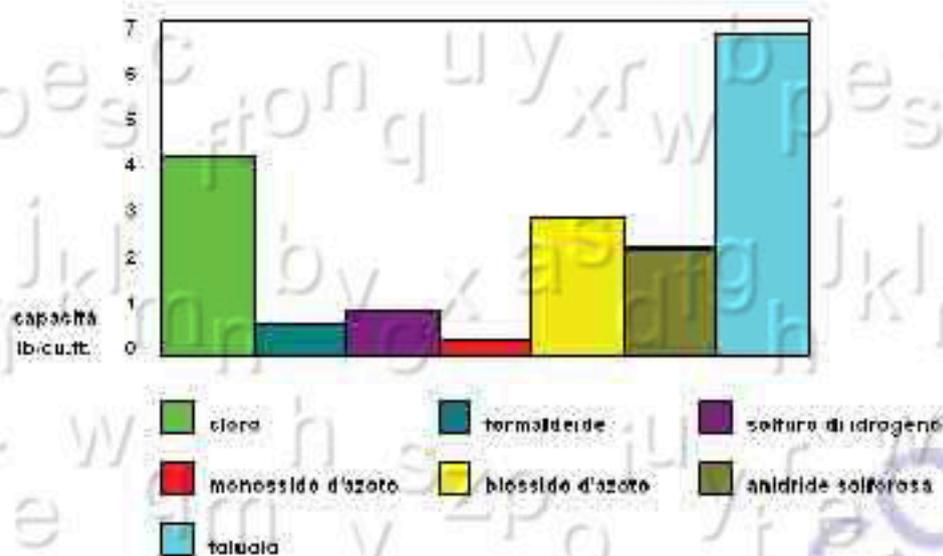


Fig. 1, capacità di un carbone attivo granulare

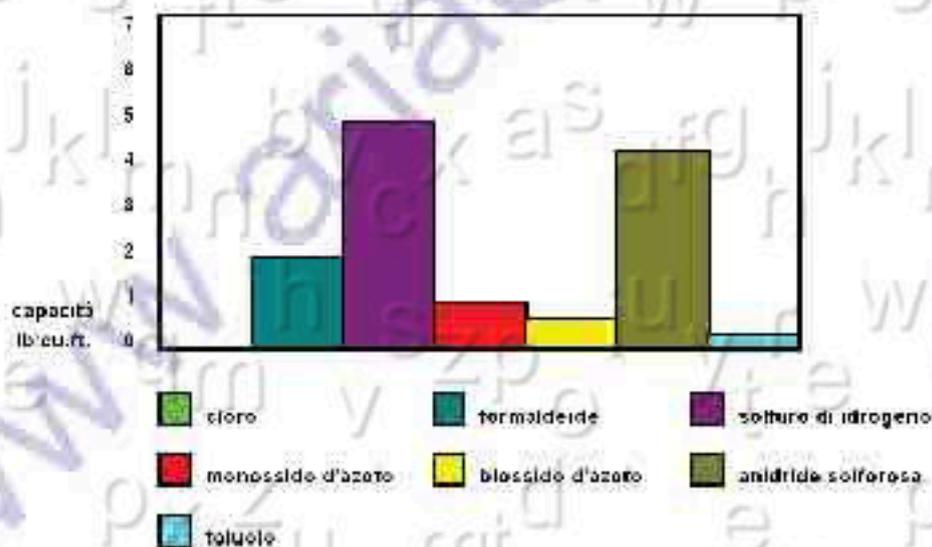


Fig. 2, capacità dell'allumina attivata con permanganato di potassio

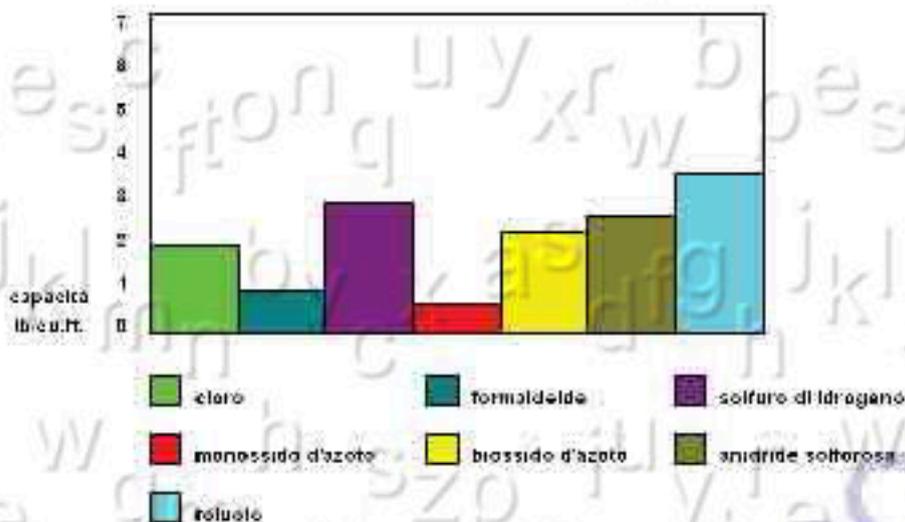


Fig. 3, capacità di una miscela 50/50 di carbone attivo ed allumina attiva

Bibliografia

ASHRAE Standard 62-1981-R, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 1981

ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 1989

A. Briganti, *Filtrazione e disinquinamento dell'aria*, Tecniche Nuove, Milano

A. Briganti, *Filtrazione e qualità dell'aria*, Quaderni di RCI, suppl. al n.3 di RCI, 03/94, Tecniche Nuove, Milano

CENprestandard TC 156, *Ventilation for buildings*, 1994

J.E. Janssen, *La ventilazione ambientale mediante il controllo della CO₂*, a cura di R. Castigliani, RCI, 6/90, Tecniche Nuove, Milano

N.A. Lange, *Manuale di chimica*, USES, Firenze

R. Liu, M.A. Hiza, *Filtration and indoor air quality: a practical approach*, ASHRAE Journal, 02/95

C.O. Müller, W.G. England, *Achieving your indoor air quality goals: which filtration system works best?*, ASHRAE Journal, 02/95

D.W. VanOsdell, L.E. Sparks, *Carbon adsorption for indoor air cleaning*, ASHRAE Journal, 02/95