

Filtrazione - Carboni attivi.

Attualità nell'applicazione dei carboni attivi

Cristiano Vergani

La tecnologia dei carboni attivi rappresenta un rimedio sempre utile ed efficace per l'abbattimento di molte sostanze inquinanti presenti in sospensione nell'aria di particolare attualità, l'impegno contro la frazione gassosa del fumo di tabacco, per completare l'azione dei filtri elettrostatici ed assicurare nel contempo un notevole risparmio energetico

Il carbone attivo è un materiale dalla struttura semplice ed allo stesso tempo dalle caratteristiche straordinarie: l'enorme superficie disponibile all'interno delle sue particelle (può essere superiore a 1500 m² per grammo) permette di intrappolare, grazie a legami deboli dovuti alle forze di van der Waal (adsorbimento) oppure a legami più forti di tipo chimico (assorbimento), una grande varietà di molecole inquinanti. L'origine del carbone può essere minerale o vegetale: il processo di attivazione, che serve a creare la struttura microporosa, si ottiene con un trattamento termico controllato e l'esposizione a vapore acqueo. Al fine di aumentare l'efficienza di abbattimento su determinate sostanze, in alcuni impieghi specifici, è possibile legare chimicamente ai siti attivi del carbone delle sostanze reagenti oppure dei catalizzatori in grado di promuovere l'ossidazione degli inquinanti.

I carboni attivi si possono presentare sotto forma di polveri, di granuli o di pelletati ottenuti per estrusione. L'uso della polvere, come strato disposto sulla superficie interna di filtri a tasche, è in genere riservato alla filtrazione di fumi di combustione, grazie alla elevata efficienza raggiungibile nella cattura di diossine ed ossidi metallici, nonostante si debba scontare una perdita di carico di notevole entità. Nel settore del condizionamento dell'aria si utilizzano invece le forme granulari o meglio ancora i pelletati, che permettano di mantenere efficienze comunque elevate con perdite di carico inferiori ed un minore rilascio di polverino (da trattenere con un post-filtro a valle del letto di carboni). Anche la disposizione del media e dei filtri nell'unità di trattamento dell'aria dipende dall'applicazione: negli impieghi industriali, caratterizzati spesso da concentrazioni elevate, si preferisce utilizzare un letto filtrante formato da un parallelepipedo interamente occupato da granuli. In questo modo, grazie alla elevata capacità, è possibile ottenere periodi di esercizio più lunghi, anche se la resistenza al passaggio dell'aria è notevole e le velocità di transito devono essere tenute piuttosto basse. Negli impieghi civili, il flusso d'aria contiene concentrazioni di inquinanti relativamente basse, mentre diventa importante contenere il più possibile le perdite di carico. Per questi motivi, si preferisce utilizzare i carboni all'interno di supporti pieghettati o di filtri rettangolari disposti a "V", in modo da avere una

velocità di attraversamento del media molto inferiore (quindi tempi di transito più elevati e favorevoli alla cattura degli inquinanti) rispetto alla velocità frontale dell'aria in ingresso all'unità di trattamento.

Dato che i carboni attivi, da soli o in combinazione con particolari sostanze ossidanti (come vedremo tra poco), sono in grado di ridurre in misura eclatante gli inquinanti in sospensione nell'aria degli ambienti chiusi e, dato che il livello di inquinamento in molti di tali ambienti è decisamente elevato, ci si dovrebbe aspettare un impiego diffuso dei filtri chimico-fisici nell'ambito del condizionamento dell'aria. Così non è, per una serie di motivi prevalentemente a torto e un po' anche a ragione, i filtri a carboni sono considerati di difficile dimensionamento e troppo costosi come installazione e manutenzione. In più, esiste un motivo importante che discende dal panorama normativo a disposizione del progettista: infatti, per dimensionare gli impianti di ventilazione, la maggior parte dei tecnici ricorre alle procedure della norma ASHRAE 62, nelle sue varie edizioni e discendenze. Dal 1981 in poi, questa norma considera nelle sue raccomandazioni il concetto di Indoor Air Quality, offrendo al progettista due percorsi alternativi per raggiungere lo standard qualitativo desiderato. Il primo, sotto il nome di Ventilation Rate Procedure, consente di diluire gli inquinanti adottando dei livelli standardizzati di ventilazione con aria esterna. Il secondo, proposto come alternativa (I.A.Q. Procedure), non prescrive tassi di ventilazione, bensì permette ai progettisti di usare il livello di aria esterna sufficiente ad assicurare una qualità dell'aria interna ritenuta accettabile dagli occupanti. Purtroppo, la I.A.Q. Procedure è molto più complessa nella sua attuazione rispetto alla Ventilation Rate Procedure, di immediata applicazione. Per dimensionare correttamente un impianto con ricircolo parziale e filtri ad alta efficienza è necessario ricorrere alla I.A.Q. Procedure: ben pochi progettisti hanno ritenuto finora conveniente addentrarsi nelle complicazioni, preferendo un approccio in discesa che prevede un tasso fisso di ventilazione e via, senza badare alla concentrazione degli inquinanti (compresi quelli presenti nell'aria esterna utilizzata per il ricambio!) e alle considerazioni energetiche.

Da qualche tempo, un nuovo spettro è venuto a turbare il sonno del progettista HVAC: il locale fumatori previsto dall'art. 51 della Legge 3 2003 (comunemente detta Legge sul Fumo; in realtà, un collegato alla Legge Finanziaria). Dopo molti tentennamenti, rinvii e discussioni per vari conflitti di competenza con le Regioni, a fine dicembre del 2003 è stato pubblicato anche il Decreto del Presidente del Consiglio, richiesto dalla Legge 3 per la propria attuazione, che avrebbe dovuto contenere, tra l'altro, i riferimenti tecnici per la realizzazione degli impianti. In realtà, il Decreto si limita in sostanza a fissare una quota di ventilazione supplementare pari a 30 L/s per fumatore, da sommare agli 11 L/s normalmente prescritti nei locali in cui è prevista l'applicazione della Legge e a destinare all'espulsione l'aria reflua contaminata dal fumo. In più viene anche stabilito un livello di depressione nel locale fumatori pari a 5 Pascal. Per gli aspetti

propriamente impiantistici, si limita a richiamare la "normativa vigente" e un non meglio specificato rispetto del "risparmio energetico". Pressati dalle richieste dei gestori dei locali, ansiosi di capire che cosa è effettivamente necessario per allestire un locale per fumatori, i progettisti si sono messi a fare qualche conto, dimensionando un ipotetico impianto di condizionamento a tutta aria esterna da $30 + 11 = 41$ L/s ovvero $147,6 \text{ m}^3/\text{h}$ per persona, capace di assicurare nell'ambiente anche il livello di pressione negativa richiesto. L'unanime conclusione è stata di grande perplessità sulla fattibilità tecnica ed economica di un simile impianto. Inoltre, molti hanno espresso riserve sulla pretesa di diluire gli inquinanti presenti nel locale fumatori con grandi volumi di aria esterna che, in ambito urbano, è già pesantemente inquinata. A questo punto, in attesa delle circolari esplicative, degli aggiornamenti dei regolamenti di igiene edilizia e tant'altro che occorrerà negli anni alla effettiva applicazione di questa legge, per potere rispondere oggi a chi ci chiede un impianto a regola d'arte che soddisfi allo scopo richiesto (tutela dei non fumatori, comfort dei fumatori e magari una diminuzione del rischio per chi si trova comunque esposto al fumo, vedi ad esempio il gestore stesso), forse è il caso di considerare le indicazioni contenute nell'*addendum* "o" dello standard ASHRAE 62-2001, dedicato alla ventilazione dei locali destinati ad accogliere i fumatori. Occorre sottolineare che le linee guida contenute in tale *addendum* hanno lo scopo dichiarato di migliorare il comfort degli occupanti riducendo l'odore e le sensazioni irritanti dovute al fumo di tabacco ambientale, senza entrare nel merito di possibili riduzioni del rischio per la salute, probabili ma non precisamente quantificabili allo stato attuale della conoscenza.

Limitandoci a quanto inerente al nostro interesse (un locale per soli fumatori con una quantità oraria di sigarette di 6 unità per individuo: l'*addendum* contempla anche altre tipologie di locale), nelle tabelle troviamo un tasso di ventilazione suggerito di 8 L/s ($28,8 \text{ m}^3/\text{h}$ di base) + 50 L/s ($180 \text{ m}^3/\text{h}$ di supplementare), un livello ancora più alto di quello richiesto dal nostro decreto. Troviamo però anche la possibilità di ridurre il valore di ventilazione supplementare in presenza di un ricircolo parziale dotato di filtri, a venti una comprovata efficienza nel rimuovere i costituenti del fumo di tabacco sotto forma di particolato e di sostanze gassose, secondo la formula seguente:

$$V_f = E_f \cdot V_r$$

dove

V_f = portata d'aria ricircolata e filtrata sottraibile dalla quota di ventilazione supplementare

E_f = comprovata efficienza di sequestro delle componenti in fase di particolato e di gas dell'ETS che influenzano la qualità percepita dell'aria

V_r = portata d'aria ricircolata attraverso il filtro

Per quanto riguarda il particolato costituente il fumo di tabacco, nella classe di granulometria più rappresentativa ($0,2 \mu\text{m} - 0,5 \mu\text{m}$), il filtro d'elezione rimane il filtro elettrostatico, che può assicurare l'elevato livello di efficienza necessario per recuperare quote significative della portata d'aria supplementare: per quanto riguarda invece gli inquinanti allo stato di gas, il problema è di più difficile soluzione. Infatti, la fase gassosa del fumo di tabacco è quanto mai complessa e variegata nella sua composizione. Per essere sicuri di abbatterla efficacemente, occorre utilizzare un sistema di filtrazione che possa assicurare il massimo livello di efficienza su uno spettro molto ampio di molecole. Attualmente, questo compito può essere svolto solo da un *dry-scrubber*, cioè un filtro capace di trattenere gli inquinanti gassosi tramite i meccanismi di adsorbimento fisico e assorbimento chimico.

Un filtro chimico-fisico efficace sulla frazione gassosa del fumo di tabacco non può essere costituito da un solo media: per ottenere una azione efficace occorre come minimo utilizzare una miscela di due media diversi con campo di applicazione complementare. Dopo approfonditi studi sperimentali, si sono potute verificare le massime prestazioni utilizzando una miscela al 50%-50% di carbone granulare (preferibile ricavato da gusci di noce di cocco) e di granuli di allumina impregnata con permanganato di potassio, dal caratteristico colore viola.

L'occasione che si presenta, di dovere progettare dei locali fumatori a regola d'arte, ha indotto negli addetti ai lavori del nostro Paese un rinnovato attivismo, risvegliando una attrazione verso l'attività normativa che languiva da anni. Nel volgere di poche settimane sono state presentati da delegati italiani due progetti di norma europei, riguardanti rispettivamente i filtri per gas e i filtri elettrostatici, mentre è in via di elaborazione una proposta di norma specifica nazionale per l'allestimento degli impianti di trattamento dell'aria nei locali fumatori. Tutte queste iniziative pare abbiano avuto buona accoglienza dagli organi preposti (CEN e UNI) e questo ci fa ben sperare di ottenere nel prossimo futuro un chiaro quadro normativo, che possa essere di valido supporto al progettista in un settore così complicato ed esigente.

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

Tabella 1. Principali inquinanti gassosi emessi dalla combustione del tabacco e miscele adsorbenti/assorbenti consigliate.

La complessità della composizione chimica della fase gassosa del fumo di tabacco impone la scelta di una miscela filtrante dallo spettro d'azione più ampio possibile: la miscela al 50% tra carbone attivo e granuli di zeolite impregnati di permanganato di potassio rappresenta la scelta di compromesso più conveniente. L'unico inquinante refrattario all'abbattimento è il monossido di carbonio: in genere, la quota di ventilazione di base è in grado di controllarne la concentrazione entro limiti accettabili (se non si superano i limiti di carico stabiliti in 0,7 fumatori per m² per un massimo di 7 sigarette/ora *pro capite*). Solo in casi eccezionali può essere conveniente ricorrere ad un reagente specifico per il CO, come l'Hopcalyte.

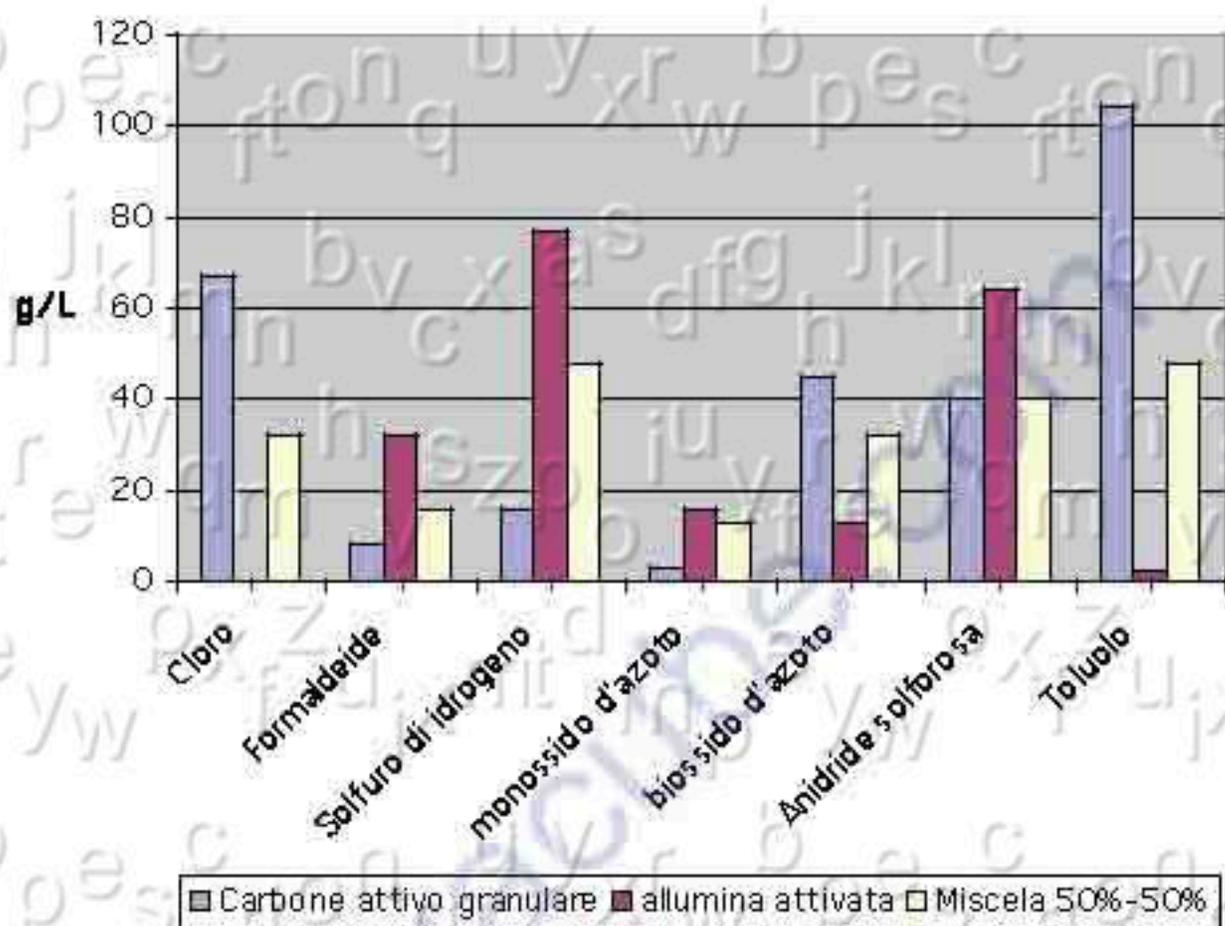


Grafico 1. Capacità di abbattimento a confronto tra carbone attivo granulare, allumina attivata con permanganato di potassio ed infine una miscela al 50% tra i due prodotti.

Come si può notare, il carbone attivo è più efficace sui solventi organici e sul cloro, mentre l'allumina attivata possiede una migliore efficienza sulle sostanze solforate. L'uso della miscela permetterà quindi di avere mediamente una buona efficacia nella depurazione di composti contenenti una grande varietà di molecole diverse, come il fumo di tabacco ambientale.

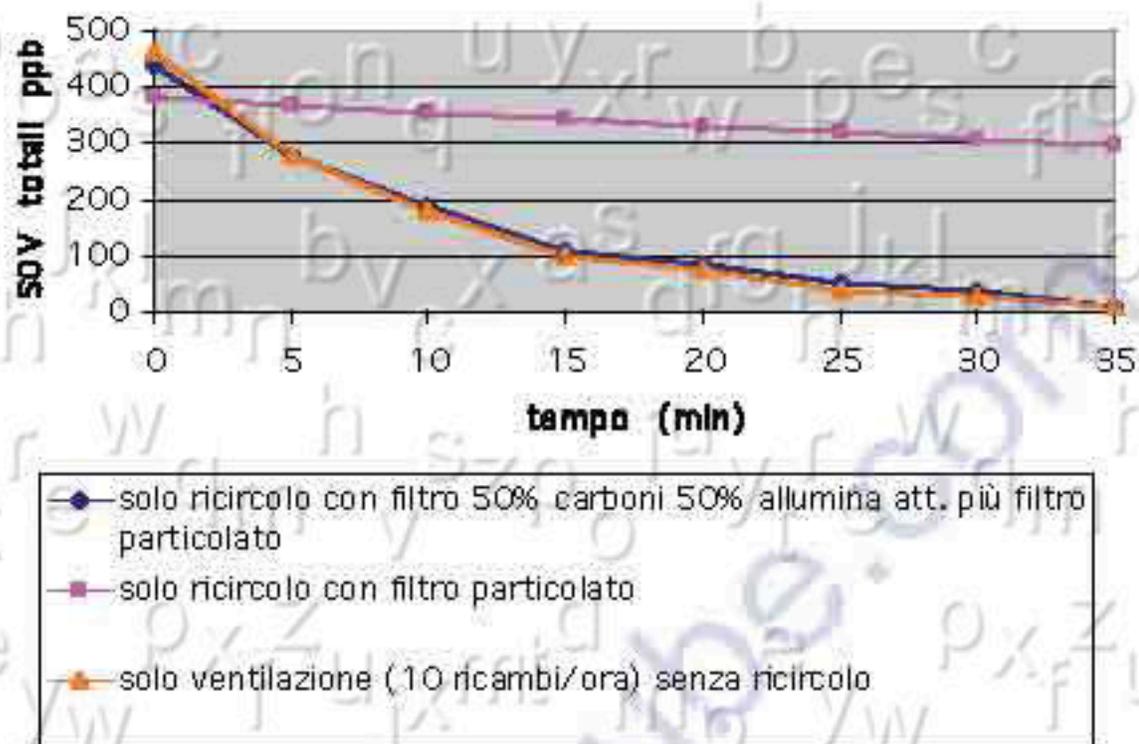


Grafico 2. Prova di abbattimento della frazione gassosa del fumo di tabacco emesso da 20 sigarette in una camera artificiale (box da 17,67 m³ di volume, rivestito in acciaio inox).

Scopo della prova il confronto tra la diminuzione di inquinanti gassosi ottenibile con il ricambio effettuato con tutta aria esterna e quella ottenibile con il solo ricircolo attraverso un filtro *dry-scrubber* ad alta efficienza (contenente 37 kg di miscela di carbone attivo granulare e allumina attivata con permanganato di potassio). La diminuzione delle sostanze organiche volatili in sospensione è risultata praticamente coincidente, dimostrando la fattibilità della filtrazione a ricircolo in sostituzione, dove necessario, del ricambio con aria esterna. Nel grafico è visibile anche la diminuzione della fase gassosa ottenibile con il solo ricircolo in presenza di un filtro ad alta efficienza per l'abbattimento della fase solida (particelle). Il calo della concentrazione è dovuto al sequestro di una parte di molecole gassose adsorbite sul particolato (da: Muller, Henriksson; Proper Design and Use of Gas-Phase Air Filtration Systems for the Control of Environmental Tobacco Smoke, Purafil Inc.).

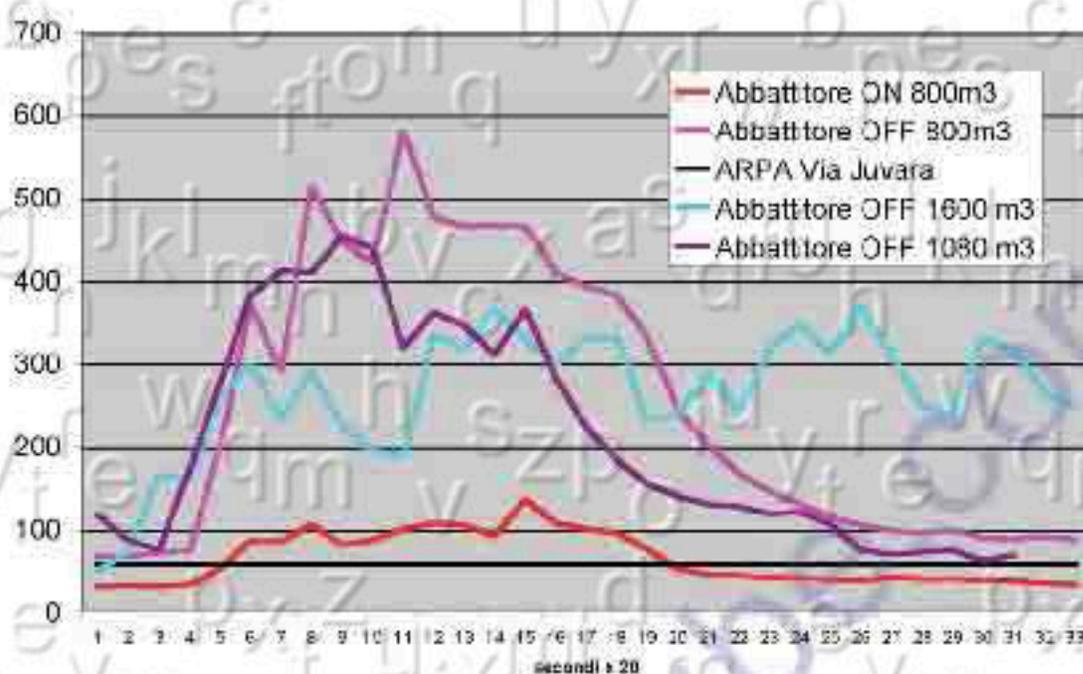


Grafico 3 Concentrazioni di particolato PM 2,5 in un locale fumatori (48 m³ di volume) realizzato appositamente per testare varie soluzioni impiantistiche per il trattamento dell'aria.

Nel grafico è possibile evidenziare l'efficacia di un abbattitore elettrostatico a ricircolo, in abbinamento ad un ricambio di soli 800 m³/h, nel diminuire la concentrazione del particolato PM 2,5 dovuto al fumo di 11 sigarette rispetto alle soluzioni con sola aria esterna (a 800, 1080 e 1600 m³/h). L'impiego del depuratore in abbinamento ad un ricambio di 800 m³/h permette di ottenere livelli di particolato pari in media a circa un terzo rispetto a quelli ottenibili da un ricambio di 1600 m³/h senza depuratore. Osservando questi dati e quelli riportati nel Grafico 2, si evince la possibilità di ridurre molto efficacemente le concentrazioni di inquinanti dovuti al fumo di tabacco, per mezzo di un ricircolo parziale attraverso filtri ad alta efficienza, senza dover ricorrere ad enormi volumi d'aria esterna di ricambio. (Prove tecniche UNIDE, Unione Nazionale Industrie Depuratori Elettrostatici, in collaborazione con L'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori di Milano, in corso di pubblicazione)

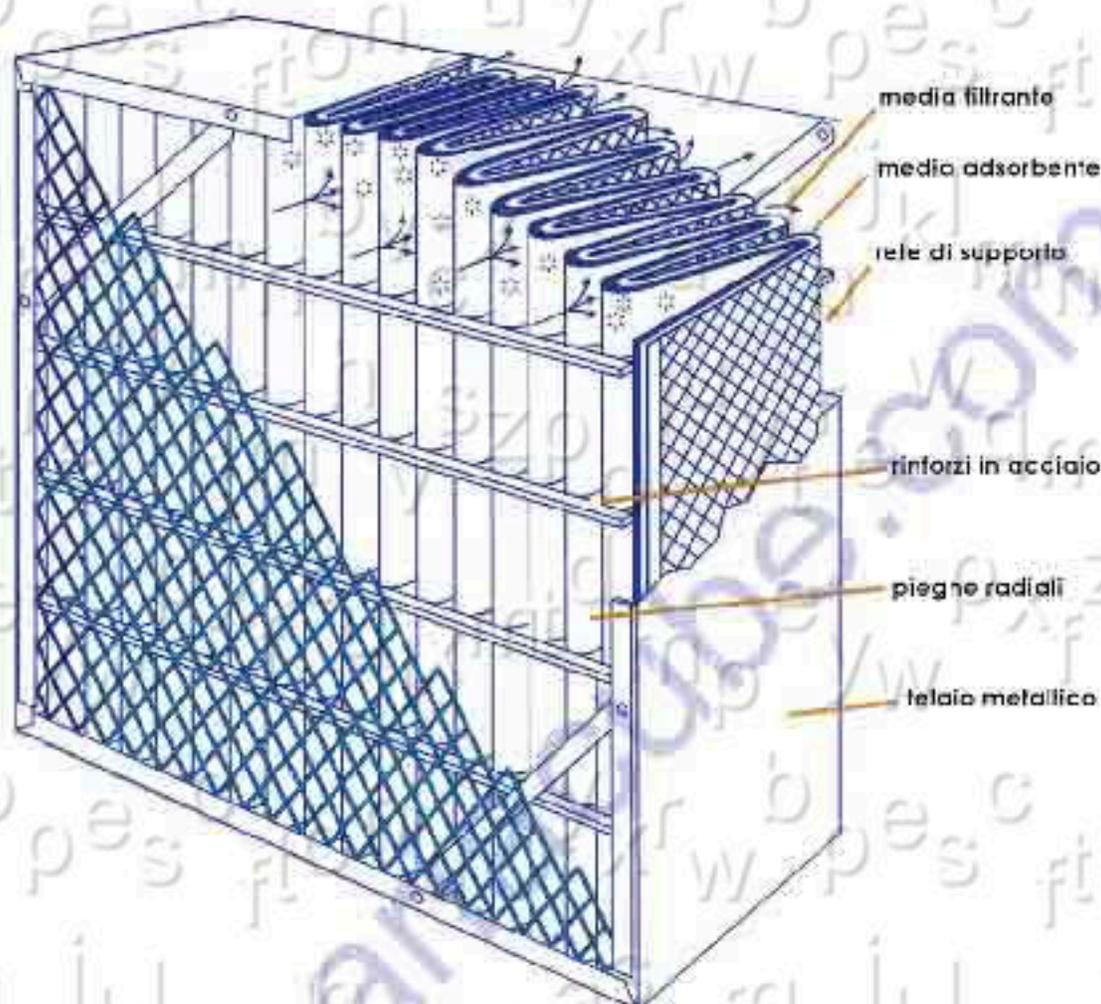


Figura 1. Struttura interna di un filtro speciale per il miglioramento della qualità dell'aria negli ambienti confinati.

L'elemento filtrante è costituito da due media sovrapposti: uno strato di materiale in grado di trattenere particolato molto fine protegge uno strato sottostante in carbone attivo, con funzione adsorbente sulla fase gassosa degli inquinanti. Questa tipologia di filtro permette di ottenere risultati molto soddisfacenti in ambienti privi di fumatori: in presenza di fumo di tabacco occorrono filtri ad alta capacità, dotati di una carica di materiale adsorbente dell'ordine di diversi kg.

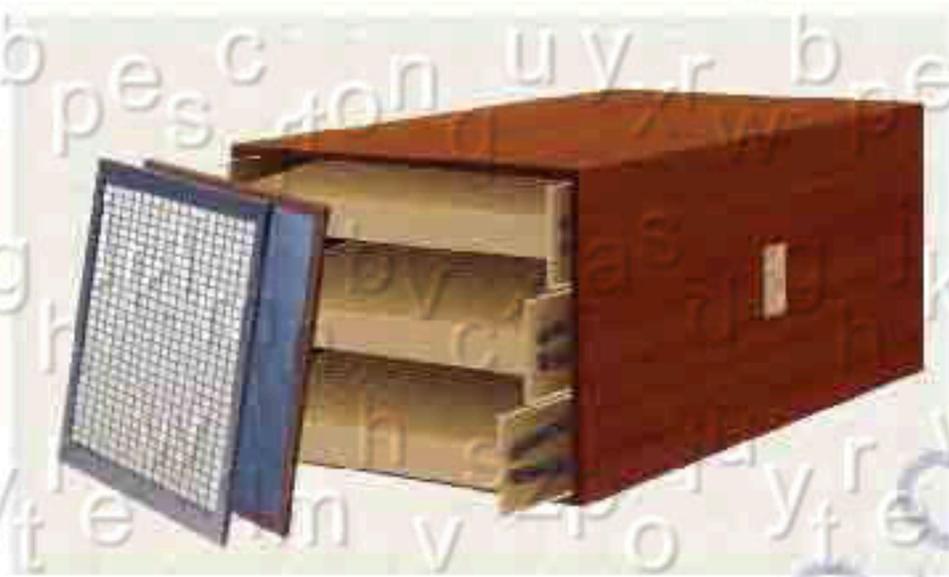


Figura 2. Un tipico modulo progettato per ridurre la concentrazione degli inquinanti di tipo gassoso in un locale fumatori. Questa unità può ospitare sei telai filtranti disposti a coppie in forma di "V" in modo da ottenere basse velocità dell'aria sul media adsorbente (miscela di carbone attivo granulare ed allumina attivata) e di conseguenza un tempo di transito sufficientemente elevato in modo da favorire il procedimento di "cattura" molecolare degli inquinanti. Un prefiltra sintetico posto all'ingresso protegge i filtri successivi dalla polvere grossolana, mentre un ventilatore centrifugo a valle dei filtri (non visibile nella figura) mette in circolazione l'aria filtrata nell'ambiente.



Figura 3. Modulo filtrante chimico-fisico ad elevata capacità per impieghi gravosi. Quando le dimensioni dei locali crescono e la quantità di inquinanti da sequestrare è particolarmente elevata, si deve necessariamente ricorrere ad unità di grandi dimensioni installabili all'esterno. Moduli come quello illustrato possono operare per intervalli molto lunghi prima di richiedere un ricambio completo dei media filtranti (circa 12 mesi).

www.anaclima.com