

## **“Applicazioni dei filtri elettrostatici per il controllo della qualità dell'aria nel settore civile ed industriale”**

L'impiego della elettricità statica per purificare l'aria non è certo un concetto nuovo: già nel 1883 Sir Oliver Lodge, illustre fisico britannico, pubblicò sulla rivista *Nature* un articolo che illustrava questa possibilità. Allora più che oggi l'atmosfera di Londra era pesantemente inquinata dallo smog e si imponeva la ricerca di una soluzione efficace: purtroppo la tecnologia del tempo non si rivelò all'altezza della lungimirante idea ed i primi tentativi si rivelarono un fiasco. Ma il seme gettato gemmò nel 1907 ad opera di un brillante professore di chimica californiano, F.G. Cottrell, che realizzò un dispositivo elettrostatico per l'abbattimento dei fumi provenienti da un impianto per la sintesi di acido solforico. Nel volgere di pochi anni le applicazioni industriali si moltiplicarono, tanto che Cottrell, con i proventi del brevetto, creò nel 1912 una fondazione. Gli studi promossi da questa fondazione costituiscono ancora oggi l'impalcatura teorica della filtrazione elettrostatica dell'aria. Dagli Stati Uniti questa tecnologia riattraversò ben presto l'Atlantico per diffondersi ampiamente in Europa ed in tutti i Paesi industrializzati, dove viene tuttora impiegata in una grandissima varietà di dispositivi di filtrazione, sia in ambito industriale che civile.

### **Precipitazione elettrostatica**

Il processo di precipitazione elettrostatica è costituito da tre stadi fondamentali: I) cessione di una carica elettrica a particelle in sospensione nell'aria; II) cattura delle particelle; III) rimozione delle particelle catturate. Nei precipitatori elettrostatici reali, l'elettizzazione delle particelle avviene per mezzo di un dispositivo di ionizzazione per scarica ad effetto corona. L'effetto corona si ottiene in presenza di un campo elettrico fortemente non uniforme, condizione che si ottiene applicando una tensione continua di elevato valore su un filo di piccolo diametro o su delle punte. Gli elettroni fortemente accelerati dal campo elettrico provocano la ionizzazione dei gas che compongono l'aria circostante. Gli ioni prodotti entrano in collisione con le particelle in sospensione e cedono loro una carica elettrica.

ogni particella può essere caricata dall'azione di più ioni, fino a raggiungere elevati livelli di carica (più o meno a seconda della resistività della particella). Ogni particella caricata è soggetta ad una forza di attrazione esercitata da un elettrodo collettore, forza che dipende dall'entità del campo elettrico e dalla distanza: questa forza provoca la precipitazione della particella sul collettore, dove viene trattenuta da un insieme di forze meccaniche, elettriche e molecolari (forze di van der Waals). Una volta depositate, le particelle devono essere periodicamente rimosse dal collettore, attraverso l'azione detergente di un liquido oppure una azione meccanica di percussione o vibrazione. La rimozione dei depositi, a seconda delle tipologie costruttive dei filtri, può essere effettuata anche durante il funzionamento, evitando con opportuni accorgimenti il trascinarsi degli agglomerati da parte del flusso d'aria.

### L'effetto corona

L'effetto corona, che rappresenta il fenomeno fisico fondamentale alla base della precipitazione elettrostatica (Fig. 1), può essere spiegato esaminando i fenomeni coinvolti nella conduzione di elettricità nei gas. I gas che si trovano comunemente negli effluenti dei processi industriali sono essenzialmente composti da molecole prive di carica, ad esempio ossidi di zolfo, di carbonio, di azoto, nonché azoto e ossigeno molecolari. Queste molecole non sono influenzate dall'applicazione di un normale campo elettrico, se non per una debole polarizzazione; in queste condizioni non scorre praticamente corrente. Applicando un campo elettrico di intensità sufficientemente elevata su un filo metallico di piccolo diametro, gli elettroni liberi che si trovano nelle immediate vicinanze possono essere violentemente accelerati: quando questi elettroni colpiscono le molecole dei gas circostanti, provocano un impatto sufficientemente forte per "strappare" altri elettroni, creando così nuovi elettroni liberi e ioni positivi. Questi nuovi elettroni liberi vengono a loro volta accelerati provocando nuovi impatti e così via, in un vero e proprio effetto "valanga". Gli ioni positivi prodotti vengono attirati dal filo: il loro impatto provoca la liberazione di nuovi elettroni liberi (elettroni secondari) che entrano a far parte della reazione a valanga. Questi fenomeni avvengono entro breve distanza dal filo, dove l'intensità del campo elettrico è sufficiente ad innescare il processo; questa distanza è detta "zona di corona". Ai margini della zona di corona abbiamo una notevole quantità di elettroni liberi, i quali urtando molecole di gas elettronegative come l'ossigeno e l'anidride carbonica danno origine a ioni negativi. Al di là della zona di corona si trova la cosiddetta "zona di quiescenza", nella quale si muovono liberamente gli ioni negativi prodotti; sono proprio questi ultimi che urtando le particelle inquinanti in sospensione sono in grado di caricarle elettrostaticamente, provocandone la precipitazione sull'elettrodo collettore connesso a terra. Quindi la notevole differenza di potenziale applicata tra filo ed elettrodo collettore provoca un passaggio di corrente che, entro la zona di corona è veicolata dagli ioni positivi, ai margini tra zona di corona e zona quiescente dagli elettroni liberi, nella zona quiescente dagli ioni

negativi. Quando si è in presenza di campi elettrici troppo elevati, oppure la concentrazione di gas elettronegativi negli effluenti è troppo bassa, gli elettroni liberi sono in grado di raggiungere direttamente l'elettrodo di massa, provocando così un repentino aumento della corrente, cioè una vera e propria scarica (sparkover). In genere un filtro elettrostatico industriale possiede la massima efficienza di abbattimento quando viene fatto funzionare immediatamente a ridosso della soglia di scarica.

### **Filtri elettrostatici di impiego reale**

I filtri elettrostatici vengono correntemente impiegati come dispositivi di filtrazione ad alta efficienza destinati all'abbattimento di tutto ciò che si presenta sotto forma di corpuscolo od aerosol, in un intervallo molto ampio di dimensioni (Fig. 2). In alcune applicazioni, si sfruttano anche reazioni indotte di tipo chimico-fisico che avvengono all'interno del filtro (es. ozonizzazione) per neutralizzare sostanze di tipo gassoso o sotto forma di vapore, che normalmente non potrebbero essere trattate elettrostaticamente. Specialmente nelle applicazioni industriali, l'elettrofiltro viene progettato su misura per una data applicazione: questo fatto ha comportato la comparsa sul mercato di varie "interpretazioni" sul tema, che in questa sede potremo esaminare solo brevemente ed in modo parziale.

Le caratteristiche che offre questa tecnologia risultano interessanti per tutti gli utilizzi che richiedano elevate rese di filtrazione su granulometrie anche molto ridotte, in abbinamento a perdite di carico contenute: lo scotto da pagare è rappresentato da ingombri non proprio contenuti (gli elettrofiltri mal sopportano velocità dell'aria superiori a 1,5 m/sec, quindi occorre abbondare con le sezioni) e da costi di installazione e manutenzione non trascurabili.

### **Vantaggi e svantaggi della precipitazione elettrostatica**

L'uso dei precipitatori elettrostatici ha incontrato negli anni vasto consenso, specialmente in alcune applicazioni, grazie ai seguenti vantaggi:

1. è possibile ottenere alte efficienze di filtrazione. Sono infatti frequenti rendimenti superiori al 99%, fino ad avvicinarsi ad abbattimenti quantitativi;
2. si possono abbattere particelle di diametro molto ridotto, non esistendo un limite teorico inferiore per la ionizzazione dei corpuscoli, un limite pratico è intorno ai 0,01  $\mu\text{m}$ , ma esistono accorgimenti progettuali che consentono l'abbattimento fino a diametri intorno a 0,001  $\mu\text{m}$ ;
3. si ottiene il recupero del particolato senza modificarlo, allo stato secco; ciò rende possibile, in molti processi produttivi, il re impiego di materie prime costose;

4. le perdite di pressione attraverso il filtro sono modeste; raramente si hanno perdite superiori ai 15 mm H<sub>2</sub>O;
5. in genere gli elettrofiltri sono progettati per una vita operativa molto lunga e con ridotte esigenze di manutenzione;
6. possiedono poche o nessuna parte in movimento, il che ne aumenta l'affidabilità;
7. sono possibili temperature di esercizio molto elevate; temperature di 300°-450° C sono usuali, ma a volte progetti particolari possono consentire temperature anche più alte, fino ai limiti della ionizzazione termica;
8. i precipitatori elettrostatici possono essere usati anche per abbattere nebbie fortemente corrosive, assai difficili, se non impossibili, da filtrare con metodi alternativi;
9. l'efficacia di abbattimento può essere incrementata a seconda dell'applicazione, semplicemente aumentando la grandezza del filtro (o diminuendo la velocità dell'aria);
10. si possono trattare flussi di ampiezza molto rilevante;
11. la potenza installata rispetto al flusso trattato è modesta. Ad esempio è sufficiente 1 kW per un elettrofiltro da circa 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Naturalmente anche gli elettrofiltri hanno i loro inconvenienti, che a volte ne rendono proibitivo l'impiego:

1. il costo iniziale è alto; in molti casi il più alto fra tutte le alternative disponibili;
2. gli elettrofiltri mal si adattano a condizioni variabili. Alimentatori particolarmente sofisticati possono migliorare la situazione, ma ad ogni modo il massimo rendimento si ottiene in condizioni operative costanti;
3. alcuni materiali sono estremamente difficili da abbattere elettrostaticamente a causa della loro resistività elettrica troppo alta o troppo bassa; in certi casi questo fattore può rendere antieconomico od impossibile l'impiego degli elettrofiltri;
4. l'ingombro del filtro a volte può diventare eccessivo, ma questo in genere accade quando si tratta di abbattere sostanze poco ionizzabili;
5. non è possibile, se non in alcuni casi particolari, filtrare sostanze in fase gassosa;
6. in genere è indispensabile ricorrere ad una prefiltrazione per non sovraccaricare il filtro;
7. è necessario impiegare particolari cautele, visto l'impiego di tensioni molto elevate.

Impiegare o meno un filtro elettrostatico è una decisione da prendere considerando attentamente i seguenti fattori:

- investimento iniziale;

- costi di manutenzione e di esercizio;
- limiti di ingombro,
- efficienza di abbattimento, tenendo conto delle caratteristiche chimico-fisiche degli inquinanti e dei limiti di emissione da soddisfare; è necessario tenere presente che aumentare l'efficienza dall'80% al 96% comporta un raddoppio dell'investimento iniziale, mentre un aumento fino al 99% può costare anche più del triplo.

### **Filtri elettrostatici ad uso civile**

Per uso civile in genere si intende l'applicazione dei sistemi di filtrazione come parte integrante degli impianti di condizionamento nei locali pubblici (bar, ristoranti, negozi, uffici, cinema, teatri ecc.) e nelle comunità (alberghi, ospedali, caserme ecc.). Si tratta di filtri progettati in modo da essere inseriti nelle canalizzazioni di movimentazione dell'aria, oppure di dispositivi da installare nell'ambiente, in grado di ricircolare l'aria filtrandola per mezzo di filtri entrocontenuti. A volte i filtri elettrostatici destinati a questi impieghi vengono denominati "filtri elettronici", per distinguerli dai precipitatori elettrostatici usati industrialmente. I filtri elettronici sono caratterizzati dall'impiego di tensioni di alimentazione fino ad un massimo di 10 kV: sono costituiti da elementi filtranti intercambiabili in lega di alluminio, dei tipi cosiddetti "monotensione" o "bitensione" (configurazione Penney), formati da una barriera di ionizzazione delle particelle, seguita da un collettore di raccolta: nel tipo monotensione (Fig. 3), le particelle ionizzate nella barriera vengono catturate nel collettore per mezzo dell'azione combinata dell'attrazione da parte di elettrodi al potenziale di terra e della repulsione da parte di elettrodi allo stesso potenziale del filo ionizzante di barriera. Nel tipo bitensione (Fig. 4), in barriera viene impiegato un potenziale di valore doppio rispetto a quello di collettore. Il filtro bitensione possiede migliori caratteristiche (maggiore superficie di captazione e migliore efficienza a parità di volume), ma per alcuni impieghi, ad esempio dovendo abbattere grandi quantità di particelle grossolane (aventi elettroresistività favorevole), è preferibile il monotensione. Rispetto al filtro elettrostatico teorico, dove ionizzazione e precipitazione delle particelle avvengono in un solo stadio, i filtri elettrostatici civili possiedono lo stadio di collettore in modo da avere rendimenti di abbattimento molto elevati con ingombri contenuti, a tutto vantaggio della facilità di installazione e dei costi. Questo genere di filtro va installato a valle della serranda di miscelazione tra aria di ripresa ed aria primaria di rinnovo, in modo da abbattere sia le particelle inquinanti prelevate dall'ambiente che dall'esterno. Si possono avere più stadi di filtrazione in serie, in modo da ampliare lo spettro di abbattimento: generalmente dopo il filtro elettrostatico si trova uno stadio di adsorbimento a carboni attivi per trattenere gli inquinanti allo stato gassoso. In sostituzione dello stadio a carboni attivi possiamo anche trovare filtri in grado di rimuovere gli inquinanti gassosi per assorbimento in fase

umida (*scrubbers*), di derivazione industriale. La parte elettrostatica prende il nome di "tella", ed è progettata in modo da essere estratta periodicamente per la rimozione degli inquinanti tramite lavaggio. Alcuni filtri particolarmente sofisticati sono dotati di un impianto automatico di lavaggio e di ripristino. Speciali alimentatori ad alta tensione sono in grado di mantenere il filtro nella zona operativa di massima efficienza, variando i parametri elettrici a seconda della resistività delle polveri, delle caratteristiche dell'aeriforme e del grado di "sporcamento" dei filtri. Appositi sensori vengono impiegati per segnalare tempestivamente la necessità di manutenzione dei filtri, in modo da evitare rischi di rilascio di agglomerati per saturazione. Tali sensori possono essere dei pressostati differenziali oppure in alcuni casi è l'alimentatore stesso che può essere in grado di rilevare e segnalare il superamento dei parametri operativi. Moduli filtranti elettrostatici vengono spesso impiegati in corrispondenza delle bocchette di emissione in ambiente, in modo da eliminare efficacemente le particelle trascinate lungo le canalizzazioni. Ciò avviene specialmente in presenza di impianti la cui manutenzione è stata trascurata per un lungo periodo di tempo, caratterizzati da depositi di polveri o addirittura da colonie batteriche o fungine (interventi di "sanitizzazione"). È importante sottolineare che, impiegando un efficiente dispositivo di filtrazione, è possibile in sede di progetto dimensionare la quota di aria di ricambio destinata all'ambiente con più parsimonia. Infatti le quote di ricambio attualmente in uso, solo per circa un terzo sono destinate alle esigenze "respiratorie", il rimanente serve alla diluizione degli inquinanti (odori, fumo di tabacco). Parte di quest'ultima frazione può essere filtrata e ricircolata, invece che immessa dall'esterno, con minor costo di installazione e gestione dell'impianto.

Molto di frequente, in particolare nei Paesi dove non è ancora molto diffuso il condizionamento centralizzato, vengono impiegati apparecchi di purificazione dell'aria da installare in ambiente. Questi apparecchi utilizzano celle elettrostatiche di tipo mono o bitensione simili o identiche a quelle presenti nei moduli filtranti da canalizzazione, in abbinamento a prefiltri in materiale sintetico e a filtri contenenti carbone attivo. La movimentazione dell'aria è assicurata da ventilatori assiali o centrifughi. Esistono tipologie di apparecchio adatte all'installazione a plafone o a parete. Di recente apparizione sul mercato sono i purificatori d'aria automatici, ovvero apparecchi dotati di sensore elettrochimico di inquinanti, gestiti da microprocessore: questi purificatori sono in grado di attivarsi automaticamente in presenza di inquinanti, regolando la portata d'aria e il tempo di attivazione in base alla concentrazione rilevata. Il valore del livello di base del segnale emesso dalla sonda sensibile agli inquinanti varia lentamente nel tempo a seconda dell'umidità e della temperatura dell'ambiente: nei sistemi di controllo della Indoor Air Quality è importante che l'apparecchio reagisca a variazioni dinamiche della concentrazione di inquinanti in grado di degradare il comfort degli occupanti. Un esempio tipico è la liberazione in ambiente di fumo di tabacco, solventi, odori. La Fig. 5 mostra come il microprocessore reagisce alle variazioni del sensore con il metodo della correzione del livello di base. I purificatori

automatici permettono di ottenere un rendimento di filtrazione ottimale in ogni situazione, contenendo i consumi energetici e la rumorosità al minimo indispensabile.

#### **Filtri elettrostatici ad uso industriale**

In ambito industriale possiamo subito individuare due tipologie di filtro elettrostatico; la prima è rappresentata da dispositivi modulari pre-assemblati, adatti per flussi fino ad un massimo di 4000-5000 Nm<sup>3</sup>, studiati per applicazioni standardizzate, per l'abbattimento di:

- fumi di saldatura (sia in configurazione fissa che semovente, muniti di braccio aspirante di captazione)
- nebbie d'olio;
- particolato ambientale (impiegati sia in impianti canalizzati di condizionamento che a "schema libero", cioè come unità autonome di ricircolo);
- effluenti da lavorazione e trattamenti termici su metalli (forgiatura, stampaggio, tempra);
- effluenti da lavorazione di materie plastiche (taglio, macinatura).

Questa classe di filtri elettrostatici è caratterizzata dall'utilizzo di celle in configurazione mono o bi-tensione, precedute da prefiltri in media filtrante metallico antiscintilla e seguite da postfiltri in media filtrante sintetica in grado di catturare gli agglomerati nelle applicazioni caratterizzate dalla presenza di polveri a resistività molto bassa (es. particelle carboniose: in questi casi il filtro elettrostatico funziona come agglomeratore, cioè le particelle vengono fatte aderire tra loro in modo da creare grossi agglomerati che possono facilmente essere bloccati da filtri meccanici). I gruppi filtranti sono in genere contenuti in robuste carrozzerie metalliche, eventualmente predisposte per riunire più moduli in parallelo. I moduli filtranti più grandi possono essere dotati di sistemi più o meno automatici di lavaggio per il ripristino delle celle, formati da rampe di ugelli fissi o in movimento.

La seconda tipologia è rappresentata da realizzazioni industriali pesanti a commessa, in grado di trattare flussi anche di diverse centinaia di migliaia di Nm<sup>3</sup>, su effluenti particolari derivanti da lavorazioni e processi produttivi diversi, nei seguenti settori:

- centrali elettriche;
- cementifici;
- acciaierie;

- fonderie metalli non ferrosi;
- cartiere;
- industrie chimiche,
- industrie farmaceutiche;
- industria petrolifera;
- impianti estrattivi e di trattamento di minerali;
- impianti di demolizione e riciclaggio.

Ogni applicazione richiede una configurazione su misura, presupponendo una notevole esperienza specifica del progettista: nonostante il solido impianto teorico di questa tecnologia, non è possibile progettare un elettrofiltro basandosi esclusivamente sulle formule riportate in letteratura, in quanto esistono numerose variabili che possono influenzare il risultato finale. In effetti, sono molto pochi i costruttori specializzati in questo campo, tutti con esperienza almeno ultraventennale: gli impianti vengono spesso dimensionati per analogia, basandosi sulle esperienze sviluppate su impianti pilota.

Il classico precipitatore elettrostatico industriale utilizzato come depolveratore (Fig. 12) è costituito da un box all'interno del quale sono disposte verticalmente le piastre metalliche di raccolta. Tra una piastra e l'altra sono intercalati diversi ordini di fili ionizzanti, sospesi ad una struttura isolata e mantenuti distesi da zavorre fissate alla terminazione inferiore. Sia le piastre di raccolta che la struttura di sospensione dei fili vengono periodicamente ripuliti dai depositi di precipitato per mezzo di percussori meccanici (rappers), di vibratorii elettromagnetici od inerziali. Il basamento del filtro è costituito da una tramoggia di raccolta delle polveri. Le operazioni di pulizia avvengono di norma durante il funzionamento: se il filtro è ben progettato, il rilascio di agglomerati nel flusso è molto limitato e può essere efficacemente bloccato da postfiltri di finitura. Ai fili ionizzanti viene applicata una tensione continua di valore compreso tra i 20 ed i 100 kV, a seconda della spaziatura tra le piastre di raccolta e la natura delle particelle da abbattere. La polarità è generalmente positiva, ma per alcune applicazioni particolari si utilizza una tensione negativa, che permette intensità superiori di campo prima del limite di scarica. La corrente assorbita varia da 0,1 a 1 mA per metro di filo ionizzante. L'alta tensione viene prodotta per mezzo di alimentatori stabilizzati. Impianti meno recenti prevedono trasformatori elevatori seguiti da un rettificatore a semiconduttore o ad onda intera, alimentati tramite un parzializzatore di fase a TRIAC regolabile manualmente od automaticamente attraverso un "contatore di scariche", che è in grado di variare l'alimentazione in base al numero di scariche per unità di tempo (sperimentalmente si è notato che



il picco di rendimento coincide con un tasso di 50 scariche / minuto). I più moderni sono realizzati per mezzo di inverter dotati di regolazione a feedback che permette di mantenere costante la corrente assorbita dal filtro, mentre la tensione non è più perfettamente continua ma impulsiva, metodo che permette di ridurre le perdite di efficienza in presenza di depositi di polveri ad alta resistività (fenomeni di "back corona"). In applicazioni particolarmente critiche vengono utilizzati alimentatori gestiti da computers e software dedicati, capaci di adeguare istantaneamente i parametri di alimentazione in base al variare delle condizioni operative.

### **Esecuzioni speciali**

Una classe speciale di elettrofiltri è rappresentata dai precipitatori elettrostatici in "fase umida", cioè formati da uno stadio dotato di barriera ionizzante con funzione di agglomeratore, seguito da un collettore di varia esecuzione, ma comunque caratterizzato dalla presenza di un film liquido, oppure di un liquido finemente nebulizzato. Il liquido impiegato è di norma acqua, eventualmente additivata di composti chimici in grado di condizionarne alcuni parametri, come la conduttività elettrica ed il pH. Questo tipo di elettrofiltro presenta il vantaggio di agire efficacemente anche sulla frazione non corpuscolata degli inquinanti, potendo operare anche con meccanismi di neutralizzazione chimica. Si tratta della scelta d'elezione nei casi in cui si debba recuperare un componente da reimpiagare nel ciclo produttivo in fase liquida, oppure quando si debbano abbattere inquinanti che tenderebbero a formare polimeri o concrezioni difficili da asportare sulle lamine metalliche di un collettore convenzionale. Inoltre questa soluzione permette di avere una operatività continua senza interruzioni per l'asportazione del precipitato. Gli svantaggi sono rappresentati da maggior costo, maggior complessità e necessità di trattare i fanghi di risulta. Inoltre l'aria depurata si presenta in condizione di saturazione umida, quindi all'emissione avremo un permancchio di condensazione molto visibile ed un lancio limitato, a meno di provvedere ad un riscaldamento dell'effluente, operazione decisamente antieconomica. Questo tipo di configurazione si ritrova con diverse varianti una delle più comuni è rappresentata nella Fig. 7 si tratta di un precipitatore di forma cilindrica disposto verticalmente, il cui collettore è formato da un fascio di tubi in PVC percorsi internamente da un film liquido. Il liquido viene pompato nella parte alta del filtro e passa nei tubi per trascinazione sospesi al centro dei tubi si trovano sospesi i fili ionizzanti. Quindi il campo elettrico si stabilisce tra il filo ed il film liquido in scorrimento. L'ingresso dei fumi da depurare avviene dall'alto. Un aspetto critico è rappresentato dalla perfetta messa a terra della struttura metallica di contenimento, e dalla continuità elettrica tra liquido e struttura: se necessario, si dovrà utilizzare un additivo chimico per incrementare la conducibilità dell'acqua. A volte è lo stesso precipitato che rende sufficientemente conduttiva l'acqua, ad esempio nell'abbattimento di nebbie acide. Esecuzioni alternative prevedono l'impiego di una barriera di ionizzazione a piastra e filo, seguita da un collettore costituito da

corpi di riempimento unettati da ugelli di nebulizzazione (*electroscribers*). Un'altra variante prevede un elettrodo ionizzante disposto in un condotto Venturi, in presenza di acqua finemente nebulizzata: le particelle da abbattere aderiscono alla nebbia finissima che si viene a formare a valle del Venturi. Il successivo impatto con la superficie dell'acqua nella vasca di contenimento completa l'abbattimento degli inquinanti. Questa variante è molto efficiente, ma data la presenza del Venturi comporta una potenza installata notevole per la movimentazione dei fumi.

Ultimamente sono comparse sul mercato unità di filtrazione compatte, costituite da un filtro elettrostatico non convenzionale seguito da un collettore a nebbia d'acqua e da uno scrubber a corpi di riempimento, denominato sistema "K" (Fig. 8). Tali apparecchi permettono di ottenere elevati rendimenti in presenza di fumi complessi, utilizzando più dispositivi di abbattimento in serie, ognuno specifico per determinate classi di inquinanti. Inoltre il sistema idraulico della macchina serve anche alle periodiche operazioni di pulizia e ripristino dei filtri. A titolo di esempio nella Tab. I sono riportati alcuni impieghi tipici di questa macchina.

**Bibliografia**

*Cleaning of Process and Waste Gases*, Lurgi GmbH, Frankfurt am Main

*Controllo Inquinamento Aria*, AAF, Milano

ASHRAE Standard 62-1981, *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

J.A. Danielson, *Air Pollution Engineering Manual*, Environmental Protection Agency, Air Pollution C. D., Los Angeles

S. Ogleby Jr, G.B. Nichols, *Electrostatic Precipitation*, Marcel Dekker Inc., New York

C. Vergani, *Note tecniche sull'inquinamento dell'aria e la depurazione elettrostatica*, Depark Industries, Lecco

Industria alimentare	Industria tessile	Industria meccanica
- frittura dolciumi	- termocoppiamento tessuti	- trattamento termico metalli
- preparazione sughetti in lattina	- finissaggio	- stampaggio materie plastiche
- preparazione minestre pronte	- stampa serigrafica	
- catering		
- torrefazione/macinatura cacao	Condizionamento aria	Industria elettronica
- torrefazione/macinatura caffè	- filtrazione aria primaria/ricirco.	- saldatura componenti
- controllo cariche batteriche	- sanitizzazione ambienti sterili	- stagnatura ad onda

Tab. 1

Applicazioni collaudate del Sistema "K" (Deparia Industries S.r.l.)

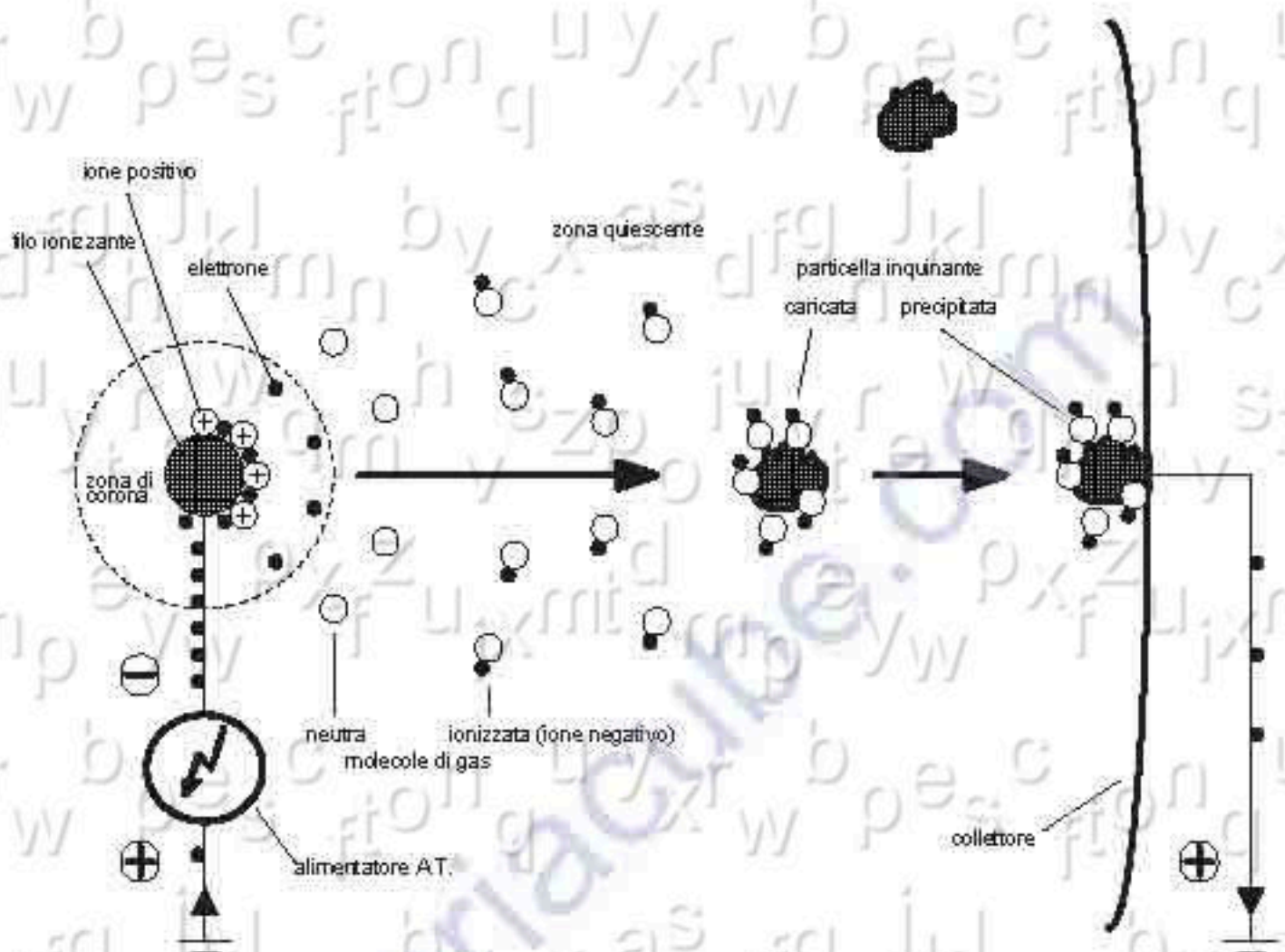


Fig. 1

Precipitazione elettrostatica (effetto corona a polarità negativa)

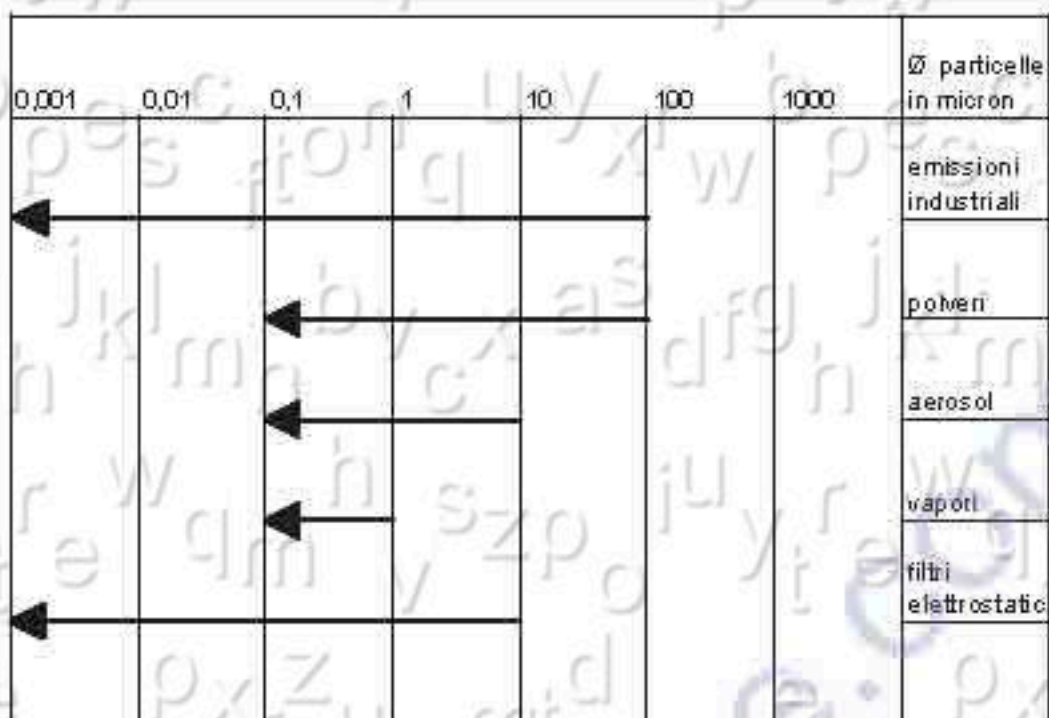


Fig. 2

Impurità solide nell'aria e campo d'impiego del filtro elettrostatico



Fig. 3

schema filtro elettrostatico monotensione  
(le lamine del collettore hanno lo stesso potenziale dei fili ionizzanti)

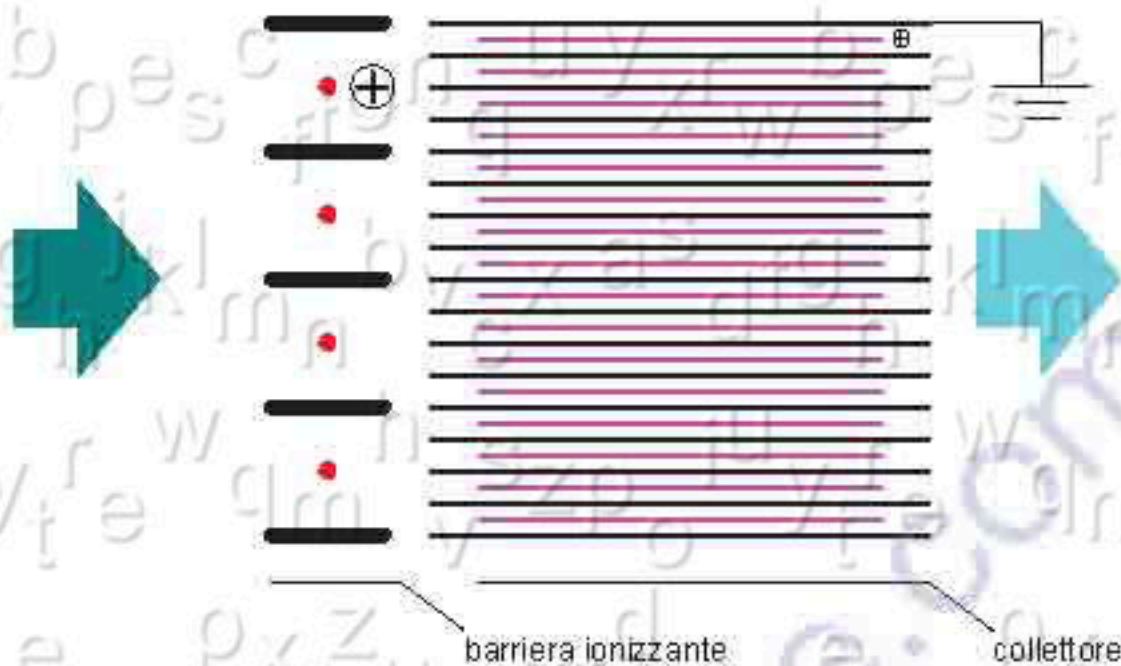


Fig. 4

schema filtro elettrostatico bitensione  
(le lamine del collettore hanno un potenziale pari alla metà di quello dei fili ionizzanti)



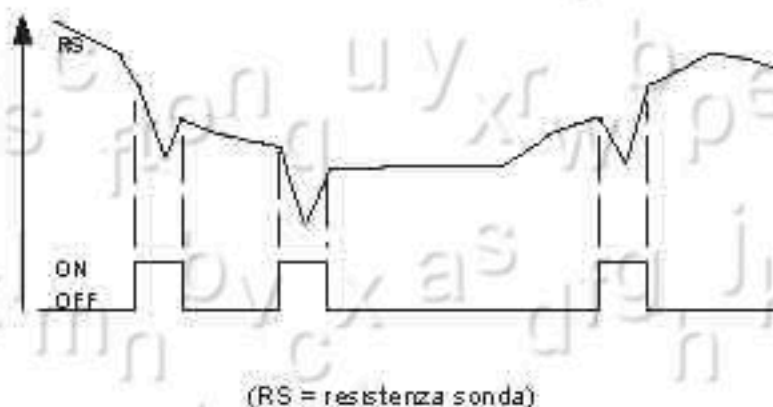


Fig. 5

Attivazione di un purificatore automatico con il metodo a correzione di base

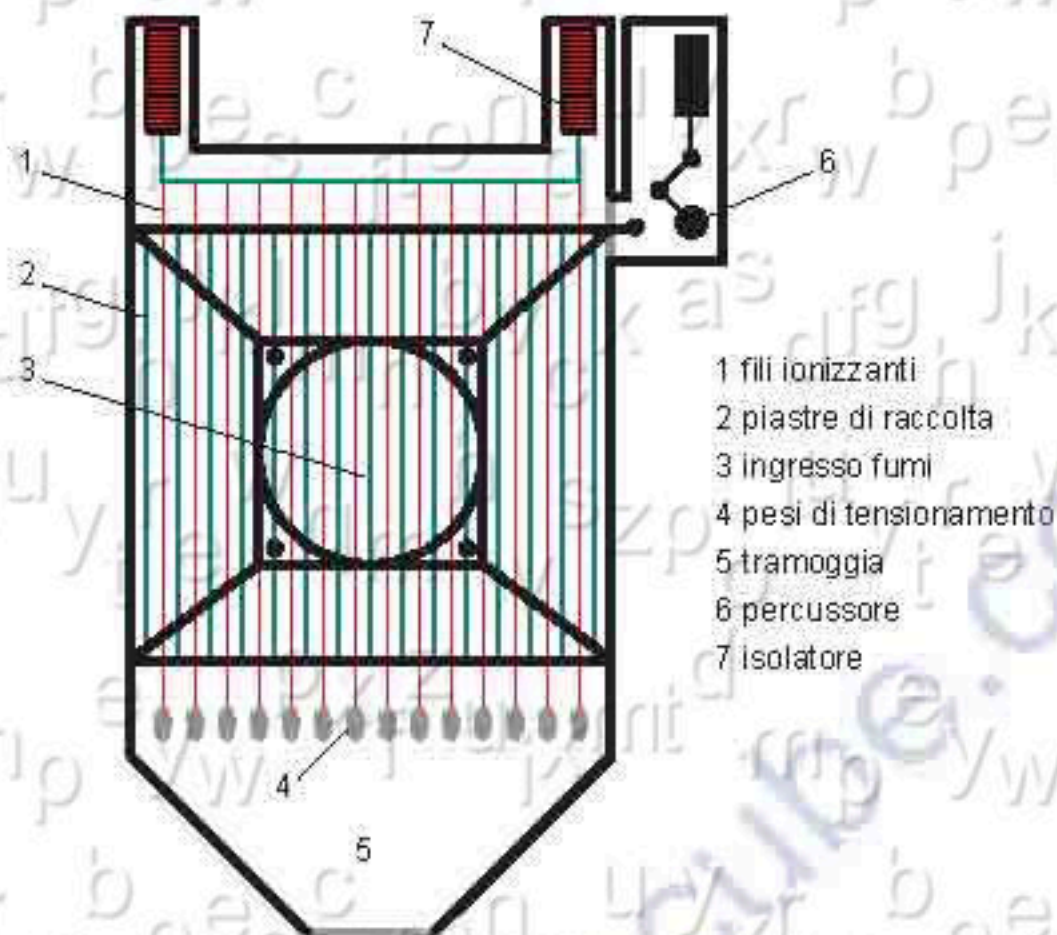


Fig. 6

Struttura tipica di un precipitatore elettrostatico industriale

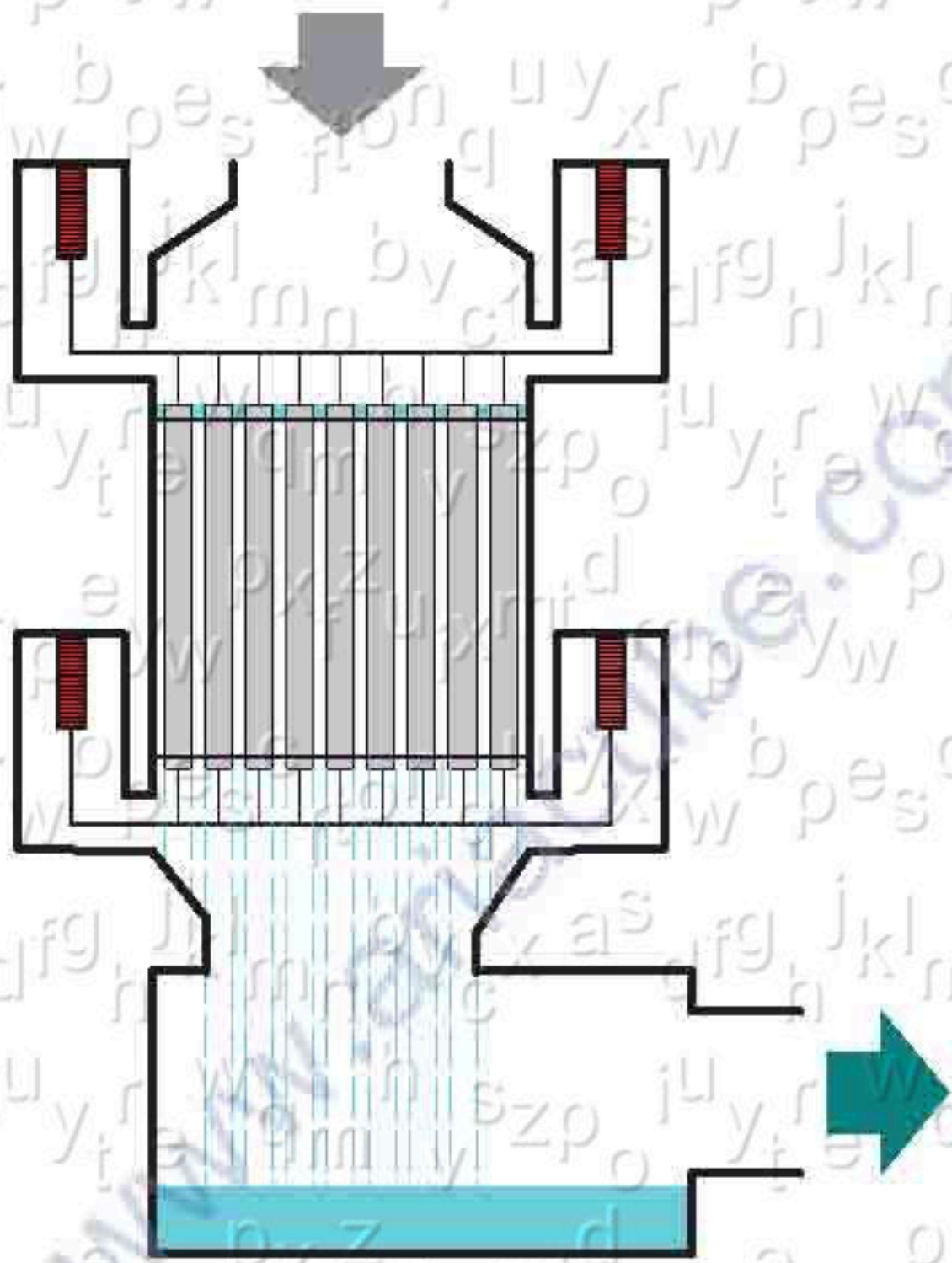
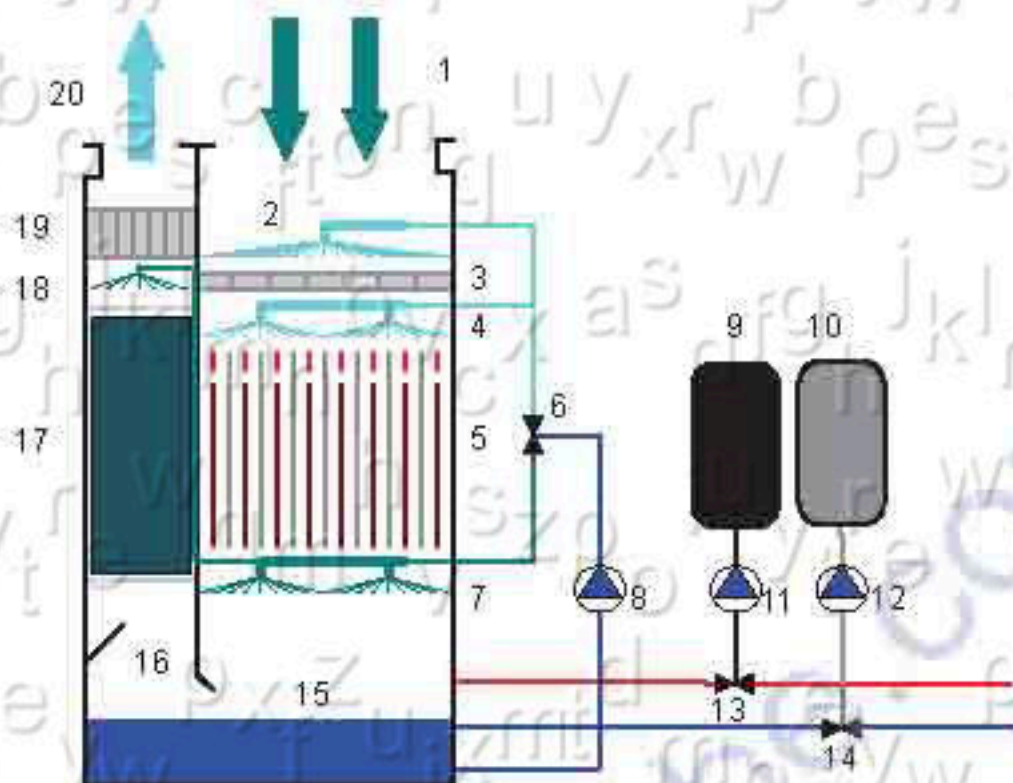


Fig. 7

Precipitatore elettrostatico con tubi in plastica



- 1- INGRESSO ARIA INQUINATA
- 2- UGELLO LAVAGGIO PREFILTRO
- 3- PREFILTRO / DISTRIBUTORE DI FLUSSO
- 4- UGELLI LAVAGGIO FILTRO
- 5- FILTRO ELETTROSTATICO SPECIALE
- 6- ELETTROVALVOLA SCAMBIO UGELLI
- 7- UGELLI NEBULIZZAZIONE
- 8- POMPA
- 9- SERBATOIO DETERGENTE
- 10- SERBATOIO ADDITIVO OSSIDANTE
- 11- POMPA DETERGENTE
- 12- POMPA ADDITIVO
- 13- ELETTROVALVOLA ACQUA CALDA
- 14- ELETTROVALVOLA ACQUA FREDDA
- 15- VASCA
- 16- DEFLETTORE
- 17- CORPI DI RIEMPIMENTO
- 18- UGELLI NEBULIZZAZIONE IN CONTROCORRENTE
- 19- SEPARATORE DI GOCCE
- 20- USCITA ARIA PULITA

Fig. 8

Schema del dispositivo di filtrazione "K" (Deparia Industries S.r.l.)