



## **STAZIONE DI FILTRAZIONE**

## **1. Introduzione**

La stazione di filtrazione a sabbia e a carboni attivi descritta nella presente relazione è prodotta dal Consorzio CONFORM - 152 su progettazione dello Studio Associato di Ingegneria Ambientale. La stazione viene impiegata in esclusiva dalla Ditta produttrice nei propri lavori di costruzione e/o ristrutturazione di impianti aziendali di trattamento acque.

## **2. Campo di applicazione**

La stazione è composta da due filtri in pressione operanti in serie di cui il primo a sabbia e il secondo a carboni attivi. Il filtro a sabbia è adibito alla rimozione dei solidi sospesi presenti nell'acqua grezza mentre il filtro a carboni attivi provvede alla rimozione dei microinquinanti, tipicamente di natura organica, non filtrabili per via meccanica.

Tutte le sostanze rimosse dalla filtrazione restano inalterate nell'acqua di lavaggio dei filtri per cui, a meno di casi del tutto particolari, la stazione non può essere impiegata per il trattamento diretto delle acque reflue non essendo in grado di produrre un residuo smaltibile se non previo ulteriori trattamenti. Per tale motivo, la stazione viene impiegata quasi esclusivamente quale stadio terziario di affinamento dell'effluente degli impianti di depurazione biologica o chimico-fisica a fini di riuso dell'acqua o di rimozioni di sostanze inquinanti che sfuggono al ciclo depurativo. In tal caso, l'acqua di lavaggio viene ricondotta in testa all'impianto di depurazione.

## **3. Caratteristiche costruttive**

Come raffigurato nell'allegato schema di flusso, la stazione di filtrazione è costituita da una apparecchiatura, da installare fuori terra, comprendente i filtri a sabbia e a carboni attivi e i relativi circuiti di filtrazione e di controlavaggio. La stazione è completata dal bacino interrato di raccolta e rilancio dell'acqua da filtrare (acqua grezza) e dal serbatoio di accumulo e pompaggio dell'acqua per il lavaggio dei filtri (acqua pulita) in genere posizionato fuori terra.

### **3.1 Filtro a sabbia**

Il filtro a sabbia consiste in un letto di materiale granulare (mezzo filtrante) contenuto in un serbatoio cilindrico (contenitore) completamente chiuso e mantenuto in pressione dai circuiti di filtrazione e di controlavaggio.

Il mezzo filtrante può essere singolo, doppio o multiplo a seconda del numero di strati di cui è composto. Un mezzo filtrante monostrato convenzionale è tipicamente costituito da uno strato di 50 - 75 cm di sabbia granulare omogenea di dimensione efficace 0,4 - 0,8 mm e densità 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

Un mezzo a doppio strato contiene uno strato inferiore di 20 - 35 cm di sabbia, come sopra specificata, e uno strato superiore di antracite granulare omogenea di diametro efficace 0,8 - 2 mm e densità 1,6 g/cm<sup>3</sup>. In generale, è buona regola che, nei mezzi filtranti multistrato, i materiali di maggiore densità siano disposti inferiormente di modo che, alla fine del controlavaggio, il mezzo si riforma nell'ordine con il quale è stato sistemato inizialmente.

Il contenitore è realizzato con fasciame in acciaio zincato e verniciato ed è completo di: passo d'uomo superiore con relativo portello per il carico e il ricambio della sabbia e per l'ispezione del filtro, boccaporto laterale con relativo portello per lo scarico della sabbia, distributore superiore del flusso di acqua, falso fondo drenante di supporto del mezzo filtrante munito di ugelli di distribuzione del flusso d'acqua, scarico di fondo, sfiato dell'aria e manometro differenziale.

### *3.2 Filtro a carboni attivi*

Il filtro a carboni attivi è strutturalmente identico a quello a sabbia con la sola differenza che il mezzo filtrante è composto di carbone attivo granulare. Questo materiale è costituito da granuli di dimensione efficace 0,6 - 0,9 mm che presentano una struttura altamente porosa e quindi sono caratterizzati da una superficie specifica (700 - 1300 m<sup>2</sup>/g) in grado di conferire al mezzo filtrante una elevata capacità di adsorbimento delle microparticelle presenti nell'acqua.

### *3.3 Circuiti di filtrazione e di controlavaggio*

I circuiti di filtrazione e di controlavaggio sono realizzati con tubi e raccordi in acciaio zincato che canalizzano l'acqua secondo i percorsi raffigurati nell'allegato schema di flusso.

I due circuiti sono raccordati rispettivamente alla tubazione di mandata della pompa di alimentazione dell'acqua grezza e quella dell'acqua pulita e sono dotati di otto valvole di intercettazione che, posizionati come da schema, determinano le seguenti modalità di operazione: a) filtrazione sequenziale attraverso i due filtri con flusso ascendente; b) controlavaggio del filtro a sabbia con flusso discendente; c) controlavaggio del filtro a carboni attivi con flusso discendente. La configurazione dei circuiti consente anche la filtrazione separata attraverso i due filtri e il lavaggio simultaneo di ambedue. Comunque quest'ultima pratica è da evitare in quanto comporta il lavaggio del filtro a carboni attivi con acqua sporcata dai residui del lavaggio del filtro a sabbia.

### *3.4 Opere accessorie*

Come già anticipato, la stazione di filtrazione deve essere servita da un bacino di raccolta e rilancio dell'acqua grezza e da un serbatoio di accumulo e pompaggio dell'acqua pulita.

Se, come in genere succede, l'acqua grezza è convogliata alla stazione da una condotta sotterranea, il relativo bacino di raccolta deve essere interrato con l'entrata a livello della condotta. In tal caso, il bacino può essere realizzato in opera con murature di cemento armato oppure, preferibilmente, può essere impiegata una vasca monoblocco prefabbricata in cemento armato vibrato completa di solaio di copertura con relativo passo d'uomo. La vasca deve possedere una capacità di accumulo sufficiente a bilanciare il flusso entrante dell'acqua con quello di alimentazione a portata costante dei filtri. Sul fondo del bacino deve essere installata una pompa di rilancio (oppure due di cui una di riserva) preferibilmente del tipo sommergibile centrifuga con girante a vortice specifica per la movimentazione di acque torbide. La pompa deve essere corredata di interruttore di livello a galleggiante e deve essere in grado di erogare la portata progettuale di alimentazione dei filtri nella condizione di carico più gravosa che si verifica alla fine del ciclo di filtrazione quando i mezzi filtranti sono completamente intasati. Peraltro, lo sporcamente progressivo dei mezzi durante il ciclo provoca un aumento graduale delle perdite di carico lungo la linea di alimentazione che tende a ridurre la portata erogata dalla pompa. Poiché, come sarà di seguito evidenziato, è fondamentale che la filtrazione venga operata a portata costante, risulta necessario montare sulla tubazione di mandata della pompa una valvola di regolazione manovrando la quale è possibile compensare l'aumento delle perdite di carico consentendo alla pompa di erogare costantemente la portata di progetto. Tale operazione viene notevolmente agevolata se lungo la tubazione di mandata, a valle della valvola di regolazione della portata, viene innestata una diramazione di ricircolo anch'essa provvista di valvola.

Per il controlavaggio dei filtri può essere utilizzata la stessa acqua filtrata defluente dalla stazione oppure acqua primaria proveniente dall'acquedotto o da un pozzo. Il relativo serbatoio di contenimento deve possedere una capacità di accumulo quanto meno sufficiente a contenere l'acqua necessaria per un intero ciclo di lavaggio. Il serbatoio è in genere posizionato fuori terra ed è asservito ad una pompa di superficie che alimenta il circuito di controlavaggio. La pompa deve essere corredata di interruttore di livello a galleggiante e deve essere in grado di erogare la portata progettuale di controlavaggio dei filtri nella condizione di carico più gravosa che si verifica all'inizio del ciclo di lavaggio quando i mezzi filtranti sono completamente intasati. Peraltro, il disintasamento progressivo dei mezzi durante il ciclo provoca una diminuzione graduale delle perdite di carico lungo la linea di controlavaggio che tende ad aumentare la portata erogata dalla pompa. Per poter operare a portata costante è necessario, come sopra, montare sulla tubazione di mandata della pompa una valvola di regolazione della portata e, a valle di questa, una diramazione di ricircolo anch'essa provvista di valvola.

Per facilitare le operazioni manuali di regolazione della portata nei circuiti di filtrazione e di controlavaggio, è opportuno che le tubazioni di mandata delle pompe siano dotate di flussimetro.

#### **4. Principi di funzionamento**

Le modalità di operazione della stazione di filtrazione sono state descritte nel paragrafo 3.3 con riferimento all'allegato schema di flusso. In quanto segue vengono esposti i principi di funzionamento dei filtri nelle operazioni di filtrazione e di controlavaggio.

##### *4.1 Filtrazione*

Movimentata dalla pompa di alimentazione, l'acqua grezza attraversa in pressione con flusso discendente prima il filtro a sabbia e poi quello a carboni attivi.

##### Filtrazione a sabbia

La filtrazione a sabbia rimuove i solidi sospesi presenti nell'acqua principalmente tramite un meccanismo di staccatura meccanica attraverso l'intero volume del mezzo filtrante in base al quale tutte le particelle solide di dimensioni maggiori di quelle dei pori vengono trattenute mentre parte di quelle più fini vengono intrappolate entro canali ciechi. Quest'ultimo fenomeno determina un progressivo intasamento degli interstizi di passaggio dell'acqua da cui consegue un graduale aumento delle perdite di carico attraverso il filtro e, nella fase conclusiva del ciclo, un brusco intorbidimento dell'acqua uscente. Quando le perdite di carico e/o la torbidità dell'acqua superano un prefissato limite, occorre arrestare il ciclo di filtrazione ed avviare quello di controlavaggio.

##### Filtrazione a carboni attivi

La filtrazione a carboni attivi rimuove i microinquinanti presenti nell'acqua defluente dal filtro a sabbia tramite un meccanismo di adsorbimento delle particelle all'interno dei micropori del carbone granulare costituente il letto filtrante. Un'acqua eccessivamente torbida o ad alto contenuto di solidi sospesi favorisce l'occlusione della struttura porosa dei granuli riducendone la superficie specifica e quindi la capacità adsorbente. Per questo motivo, è buona regola che la filtrazione a carboni attivi sia sempre preceduta da quella a sabbia.

Il trattamento di adsorbimento su carboni attivi viene utilizzato principalmente per la rimozione dei composti organici refrattari al trattamento biologico nonché di residui di specie inorganiche quali i composti dell'azoto, i solfuri e i metalli pesanti.

Come quello a sabbia, anche il filtro a carboni attivi tende ad intasarsi con il procedere del ciclo di filtrazione per effetto dell'occlusione degli interstizi provocate in parte da eventuali solidi sfuggiti alla filtrazione a sabbia ed in parte dalla crescita di biomassa che utilizza come substrato le sostanze organiche trattenute dal mezzo filtrante. Di conseguenza, le perdite di carico attraverso il filtro aumentano gradualmente fino a quando, superato un determinato limite, risulta necessario arrestare il ciclo di filtrazione ed avviare quello di controlavaggio.

Il riempimento dei micropori dei granuli di carbone provoca l'esaurimento della sua capacità di adsorbimento e quindi la necessità di rimuovere il carbone esausto del mezzo filtrante e sostituirlo con carbone attivo vergine o rigenerato. Le operazioni di ricambio dei carboni devono essere eseguite manualmente utilizzando i rispettivi portelli di scarico e di ricarica (in realtà analoghe operazioni di ricambio devono essere previste, seppure con minore frequenza, anche per il mezzo filtrante del filtro a sabbia).

#### Regolazione della portata di alimentazione

Durante l'intero ciclo di filtrazione, i filtri devono essere alimentati con una portata compresa nei limiti dell'intervallo di progetto stabilito sulla base dei criteri enunciati nel paragrafo che segue. Una portata superiore al limite massimo può provocare, da un lato, un'azione di trascinamento dei solidi sospesi nell'attraversamento del filtro a sabbia con conseguente aumento della loro concentrazione nell'acqua filtrata, dall'altro, un tempo di permanenza dell'acqua nel filtro a carboni attivi troppo limitato perché possa completarsi il processo di adsorbimento dei microinquinanti. D'altro canto, una portata inferiore al limite minimo causa un eccessivo ristagno dell'acqua nei due filtri che può provocare, da un lato, l'intasamento precoce del filtro a sabbia, dall'altro, l'instaurarsi nel filtro a carboni attivi di processi biologici di decomposizione con conseguente sviluppo di idrogeno solforato che è notoriamente un gas tossico, maldeorante e corrosivo delle strutture metalliche di contenimento dei filtri.

Premesso quanto sopra, l'alimentazione dei filtri durante il ciclo di filtrazione deve essere operata con la seguente procedura. Poiché la pompa di alimentazione è dimensionata per erogare la portata di progetto nella condizione di carico più gravosa (mezzi filtranti completamente intasati), all'inizio del ciclo di filtrazione, con mezzi filtranti puliti, è necessario operare con la valvola di ricircolo completamente aperta e quella di mandata parzialmente chiusa. Man mano che i filtri si sporcano e aumenta la perdita di carico nel loro attraversamento, occorre compensare tale perdita aprendo gradualmente la valvola di mandata e, quando questa è tutta aperta, chiudendo progressivamente la valvola di ricircolo. Quando quest'ultima è tutta chiusa e la portata è al limite minimo dell'intervallo di progetto, il ciclo di filtrazione deve essere interrotto ed avviato quello di controlavaggio. Tutte le suddette operazioni devono essere eseguite con l'ausilio del flussimetro montato sulla tubazione di mandata della pompa.

#### *4.2 Controlavaggio*

Per i motivi già spiegati nel paragrafo 3.3, è opportuno che il controlavaggio dei due filtri venga eseguito separatamente. La scelta del tipo di acqua da impiegare per il lavaggio (primaria o filtrata)

dipende non tanto dalla disponibilità di acqua primaria, trattandosi di quantitativi modesti, quanto dalla idoneità dell'acqua filtrata, in termini di inquinamento residuo, per le operazioni di lavaggio.

#### Controlavaggio del filtro a sabbia

Movimentata dalla pompa di controlavaggio, l'acqua pulita attraversa in pressione il filtro a sabbia con flusso discendente per poi fuoriuscire dalla stazione senza passare nel filtro a carboni attivi. Se il filtro viene attraversato a portata adeguata, l'acqua provoca la fluidificazione del mezzo filtrante con un grado di espansione del 20 - 30 % senza che la sabbia venga trascinata verso lo scarico. L'agitazione dei granuli nel mezzo fluidificato libera le particelle solide preventivamente intrappolate che vengono trascinate dal flusso d'acqua.

#### Controlavaggio del filtro a carboni attivi

Movimentata dalla pompa di controlavaggio, l'acqua pulita bypassa il filtro a sabbia e attraversa in pressione il filtro a carboni attivi con flusso discendente per poi fuoriuscire dalla stazione. Le modalità di rimozione delle sostanze che occludono gli interstizi di passaggio dell'acqua sono praticamente identiche a quelle esaminate per il lavaggio del filtro a sabbia.

#### Regolazione delle portate di controlavaggio

Anche le portate di controlavaggio dei filtri, così come quella di filtrazione, devono rientrare entro un determinato intervallo di valori stabilito in fase di progetto. Una portata troppo bassa potrebbe non essere in grado di provocare la fluidificazione del mezzo filtrante sufficiente a liberare le sostanze occludenti mentre una portata troppo alta potrebbe provocare il trascinarsi fino allo scarico dei granuli del mezzo filtrante.

Premesso quanto sopra, il controlavaggio dei filtri deve essere operato con la seguente procedura. Poiché la pompa di controlavaggio è dimensionata per erogare la portata di progetto nella condizione di carico più gravosa (mezzi filtranti completamente intasati), all'inizio del ciclo di controlavaggio, con mezzi filtranti intasati, è necessario operare con la valvola di ricircolo completamente chiusa e quella di mandata completamente aperta. Man mano che i filtri si puliscono e diminuisce la perdita di carico nel loro attraversamento, occorre compensare tale perdita chiudendo gradualmente la valvola di ricircolo e, quando questa è tutta chiusa, chiudendo progressivamente la valvola di mandata. Quando la portata è al limite minimo dell'intervallo di progetto, il ciclo di controlavaggio si è completato. Tutte le suddette operazioni devono essere eseguite con l'ausilio del flussimetro montato sulla tubazione di mandata della pompa.

### **5. Criteri di dimensionamento**

I principali parametri di riferimento per il dimensionamento dei filtri a sabbia e a carboni attivi sono le velocità di filtrazione e di controlavaggio, che sono date dal rapporto fra le rispettive portate e l'area della sezione trasversale dei mezzi filtranti.

### *5.1 Dimensionamento dei filtri*

Fonti di letteratura (Metcalf & Eddy - ECOM, 2007) raccomandano di dimensionare i filtri a sabbia e a carboni attivi assumendo un valore della velocità di filtrazione contenuto nell'intervallo 5 - 12 m/h. L'area della sezione trasversale dei mezzi filtranti è data dal rapporto fra la portata progettuale di alimentazione del circuito di filtrazione e il valore assunto per la velocità di filtrazione.

L'altezza  $h$  del mezzo filtrante del filtro a sabbia può essere determinata in funzione della dimensione efficace  $d$  dei granuli utilizzando la correlazione empirica  $h/d \geq 1000$  (Zinnie et al., 2002). Non essendo nota a priori la granulometria della sabbia che sarà impiegata, è opportuno fare riferimento all'estremo superiore del range di variabilità delle dimensioni efficaci dei granuli di sabbia (0,8 mm) assegnando al relativo mezzo filtrante una altezza non inferiore a 80 cm.

Il mezzo filtrante del filtro a carboni attivi deve possedere un volume in grado di realizzare un tempo di contatto sufficiente a completare il processo di adsorbimento dei microinquinanti presenti nell'acqua. Secondo dati di letteratura (I. Bonomo, 2008) il valore del tempo di contatto deve essere contenuto nell'intervallo 5 - 30 min. Moltiplicando tale valore per la portata progettuale di alimentazione del circuito di filtrazione si ottiene il volume da assegnare al mezzo filtrante e quindi la sua altezza essendo già stabilita l'area della sezione trasversale.

È opportuno rimarcare a riguardo che gli algoritmi di calcolo sopra specificati sono validi solo se la filtrazione viene effettuata in modo uniforme lungo tutto il volume dei mezzi filtranti. La presenza di cortocircuiti idraulici, provocati da percorsi preferenziali del flusso dell'acqua, può comportare significative sottostime nel dimensionamento dei filtri. Da ciò si evince l'importanza di attrezzare i filtri con appropriati dispositivi di distribuzione del flusso in entrata e in uscita.

### *5.2 Dimensionamento della pompa di alimentazione del circuito di filtrazione*

Secondo dati di letteratura (R. Passino, 1995) le perdite di carico nell'attraversamento di un filtro a sabbia in pressione variano da 0,3 m all'inizio del ciclo di filtrazione (filtro pulito) a 8 m alla fine del ciclo (filtro intasato). La durata media di un ciclo, e quindi l'intervallo di tempo fra due lavaggi successivi, è stimata all'incirca pari a 50 h. Assumendo una analoga perdita di carico nell'attraversamento del filtro a carboni attivi, risulta una perdita complessiva lungo il circuito di filtrazione a fine ciclo di 16 m che costituisce la prevalenza di progetto della pompa di alimentazione del circuito di filtrazione.



### *5.3 Dimensionamento della pompa di alimentazione dei circuiti di controlavaggio*

La velocità di controlavaggio del filtro a sabbia deve essere compresa nell'intervallo 20 - 40 m/h mentre per il filtro a carboni attivi deve essere adottata una velocità minore (10 - 30 m/h) per evitare che i granuli del carbone, più leggeri di quelli della sabbia, vengano trascinati verso lo scarico. Moltiplicando le velocità adottate per l'area della sezione trasversale dei filtri si ottengono i valori delle portate da adottare nel controlavaggio dei due filtri. La maggiore delle due portate, in genere quella relativa al filtro a sabbia, e il valore stabilito per la perdita di carico nell'attraversamento del filtro intasato all'inizio del ciclo (8 m) rappresentano i dati di portata e prevalenza per il dimensionamento della pompa di alimentazione dei circuiti di controlavaggio.

La durata del ciclo di lavaggio del filtro a sabbia varia da 5 a 10 min mentre quella del filtro a carboni attivi è in genere leggermente superiore (10 - 15 min) in considerazione della minore portata adottata. Note le durate dei cicli di lavaggio dei due filtri e le relative portate si può determinare il volume complessivo di acqua pulita necessaria per un intero ciclo.