

TECHNICAL BRIEFS

FILTRAZIONE SU UN LETTO GRANULARE

GRANULAR MEDIA FILTRATION

La maggior parte dei possibili clienti o venditori collega il concetto di filtrazione su un letto granulare dei filtri FCA con la teoria della filtrazione convenzionale (a letto profondo). Quando ciò accade, è difficile dimostrare i numerosi vantaggi in termini d'efficienza, di risparmio energetico e di funzionalità che questo tipo di filtro possiede nei confronti di un filtro convenzionale.

I filtri FCA ed i filtri convenzionali si differenziano sia nella teoria che nel funzionamento.

Le seguenti note servono a chiarire alcuni possibili equivoci:

LA PRIMA FASE

La filtrazione su mezzi granulari è un processo a due fasi. Nella prima fase si ha la rimozione delle macroparticelle dal liquido, grazie all'uso di mezzi granulari come la sabbia, il ghiaietto, il carbone antracite, ecc.

Il meccanismo che trattiene le macroparticelle o i solidi sospesi coinvolge i principi della sedimentazione, della conglomerazione e della filtrazione. Le macroparticelle sospese si depositano dapprima sulla superficie dei mezzi granulari grazie alle forze gravitazionali (sedimentazione). Queste particelle cominciano ad "incunarsi" negli interstizi tra i granuli prossimi alla superficie del letto filtrante. Man mano che gli interstizi s'intasano, altri solidi si uniscono alle particelle già incuneate. Questo processo di conglomerazione utilizza interazioni elettrostatiche, chimiche od adsorbimento specifico.

Many prospective buyers or sales representatives appear to be relating the granular media filtration concept of the FCA filters with conventional filtration (deep bed) theory.

When this is done, it is hard to show the many operational, energy, and efficiency advantages the FCA has beyond those of a conventional filter.

The FCA filter and the conventional filter really vary differently from one another in theory and operation.

The following is presented to clear-up some of the possible areas, of misunderstanding:

THE FIRST STEP

Granular media filtration is a two-step process. The first step involves the removal of particulates from the liquid by the use of granular media such as sand, gravel, anthracite coal, etc.

The mechanism by which particulates or suspended solids are removed involves principles of settling, attachment, and straining.

The suspended particles are first brought to the media surface by gravitational forces (sedimentation). These particles begin to "wedge" in the interstices between the media, close to the surface of the bed. As the interstices clog with the solids particles, other suspended materials may attach themselves to the particles already wedged. This attachment process involves electrostatic interactions, chemical bridging, or specific adsorption.

Inizia allora la filtrazione, quando il liquido contenente ulteriori solidi sospesi passa attraverso lo strato di solidi depositi sulla superficie filtrante. Il termine "tappeto filtrante" è usato per indicare proprio questo strato di solidi.

Ulteriori solidi sospesi, troppo grandi per passare attraverso il tappeto filtrante, sono trattenuti e vanno ad incrementare il tappeto stesso.

Il tappeto filtrante è molto più efficace dei mezzi granulari nel trattenere i solidi sospesi. Man mano che il tappeto aumenta di spessore, necessita una maggior pressione per far passare l'acqua attraverso il filtro e quindi, contemporaneamente all'intasamento progressivo del filtro, si avrà un innalzamento del battente idraulico sul letto.

Le macroparticelle sono trattenute nel tappeto filtrante in equilibrio con le forze idrauliche che tenderebbero a staccarle ed a trasportarle in profondità nel filtro stesso.

All'aumentare dell'intasamento le velocità attraverso gli strati superiori del filtro aumentano e questi strati diventano meno efficaci nel trattenere nuove particelle di solidi. A causa dell'aumento di carico, le velocità diventano così elevate che i meccanismi di sedimentazione, di conglomerazione e di filtrazione che tengono i solidi in equilibrio, sono superati e le particelle vengono spinte più in profondità nel filtro. Il compito della rimozione passa quindi sempre più in profondità con gli strati inferiori del mezzo filtrante che si comportano come un letto pulito e formano nuovi tappeti filtranti (vedi Fig. 1). Alla fine rimane un'inadeguata presenza di supporto "pulito" necessario per fornire un effluente della desiderata qualità e la filtrazione deve essere interrotta per iniziare un ciclo di controlavaggio.

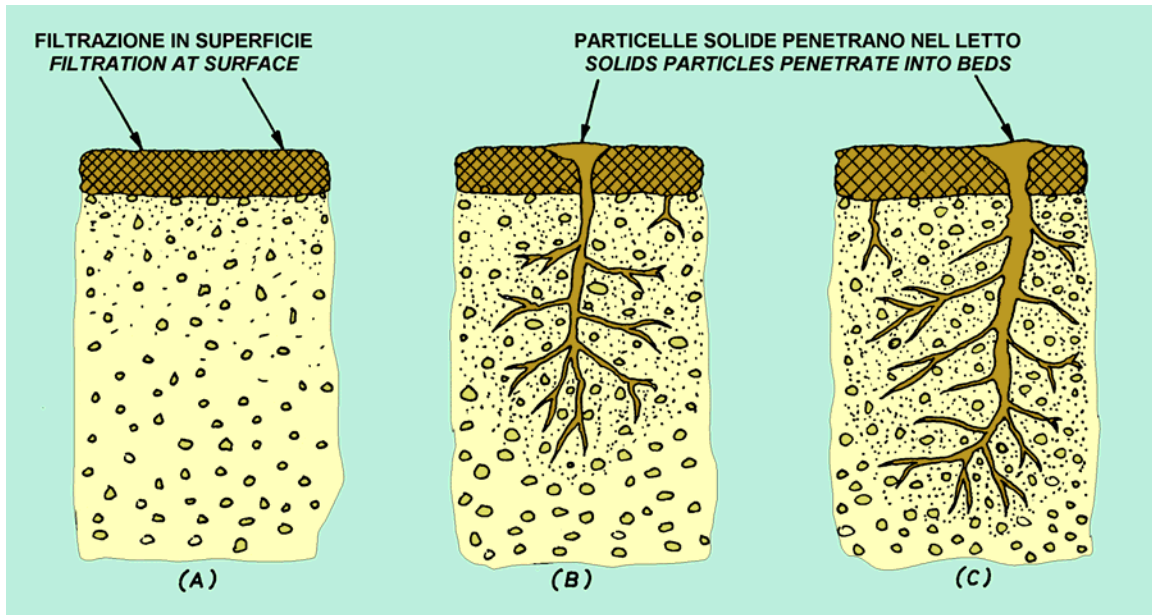
Straining then begins as the bulk fluid containing additional suspended solids concentrations passes through this buildup of solids particles close to the surface of the media bed. The term, "filter mat", is used in referring to this buildup of solids particles close to the media bed surface.

The suspended solids may be too large to pass through the filter mat and are strained out of the bulk fluid and add to the continuing formation of the filter mat.

The filter mat is much more effective in removing the suspended solids than is the media alone. As the filter mat continues to build, it requires more and more pressure from above to force the water through this filtering layer. A buildup of headloss will automatically proceed as the filter bed becomes more and more "clogged" with solids particles.

The particles are held together in the filter mat in equilibrium with the hydraulic shearing forces which tend to tear them away and wash them deeper into, or through, the filter.

As these deposits build, the velocities through the nearly clogged upper layers of the filter increase and these layers become less effective in removal. The velocities become so great due to the increased head that the settling, attachment and straining mechanisms which hold the solids in equilibrium are overcome and are forced deeper into the filter. The burden of removal then passes deeper and deeper, with the lower layers of filter media acting as a clean bed and forming new filter mats (see Figure 1). Ultimately, there is an inadequate supply of "clean" media available to provide the desired effluent quality and the filter run must be terminated by the backwash cycle.



I DISEGNI MOSTRANO QUELLO CHE SUCCEDDE IN UN LETTO FILTRANTE

SKETCHES SHOWING WHAT TAKES PLACE IN A FILTER BED.

- (A) LE FORZE DI TAGLIO SONO INFERIORI ALLE FORZE DI SEDIMENTAZIONE, CONGLOMERAZIONE E FILTRAZIONE
- (B)&(C) LE FORZE DI TAGLIO SONO SUPERIORI ALLE FORZE DI SEDIMENTAZIONE, CONGLOMERAZIONE E FILTRAZIONE

- (A) SHEAR FORCES ARE NOT GREATER THAN THE SETTLING, ATTACHMENT AND STRAINING FORCES.
- (B)&(C) SHEAR FORCES HAVE SURPASSED THE SETTLING, ATTACHMENT AND STRAINING FORCES.

FIG. 1

Il filtro a sabbia FCA ha uno spessore standard di sabbia silicea di soli 280 mm. Poiché questo spessore è relativamente modesto, la perdita di carico finale è sicuramente più bassa (normalmente meno di 50 mm). I solidi sono trattenuti solo in superficie dove è presente il tappeto filtrante e per questo che si considera l’FCA un sistema di filtrazione superficiale (vedi FIG. 1 A). Grazie alla bassa perdita di carico, le condizioni d’equilibrio, prima menzionate, non sono superate ed i solidi non sono spinti nelle zone più profonde del letto filtrante. La rimozione dei solidi avviene solo sulla superficie del filtro. Per cui questo filtro non trattiene grandi quantità di solidi tra i granuli del mezzo filtrante e deve essere lavato in controcorrente ad intervalli più frequenti che non con i filtri tradizionali “a profondità”. La quantità di solidi che sono trattenuti in un FCA, tra i cicli di

The FCA standard sand filter has 280 mm of silica sand as the media. Since this depth is comparatively shallow, the terminal headloss is significantly lower (less than 50 mm normally). Solids are only removed at the surface where the filter mat is present and, thus, the FCA is considered a surface filtration system (see FIG. 1 A). At the low terminal headloss requirement, the equilibrium conditions discussed earlier are not overcome and solids are not forced to deeper regions of the filter bed. The solids removal continues to proceed at the surface of the filter. Consequently, this filter does not store large quantities of solids in the filter media and must be backwashed at more frequent intervals than are the "depth" filter types. The quantity of solids that are stored per area in the FCA between backwash cycles is less than that of a depth filter. The FCA removes these solids more frequently and, thus, the solids removed per unit time per area

lavaggio, sono inferiori a quelli di un filtro a profondità. L'FCA rimuove questi solidi più frequentemente e perciò i solidi rimossi per unità di tempo e di superficie saranno gli stessi, o forse inferiori, di quelli di un filtro convenzionale con gli stessi parametri di progetto. Sembra pertanto che un filtro tradizionale sia più vantaggioso di un filtro FCA, ma ciò non è vero e lo dimostreremo nella sezione seguente.

LA SECONDA FASE

Nella prima fase della filtrazione le particelle sono rimosse dal liquido. Poi nella seconda fase le particelle devono essere rimosse dal mezzo filtrante che le ha trattenute. Questa seconda fase è forse più importante della prima. Se, infatti, non si riesce a rimuovere i solidi dai granuli del mezzo filtrante, non ci sarà più filtrazione e la spinta idraulica porterà le particelle ad attraversare il mezzo con nessuna riduzione apprezzabile del contenuto dei solidi tra influente ed effluente. Se invece i solidi vengono rimossi in maniera efficace, si può ritornare alla prima fase, cioè alla filtrazione.

La rimozione dei solidi trattenuti nei mezzi filtranti avviene in modo differente tra i filtri a profondità e quelli FCA. Poiché nei filtri tradizionali i periodi di filtrazione tra i cicli di controlavaggio sono più lunghi e le perdite di carico maggiori, i solidi rimossi sono congiunti saldamente sulla superficie dei granuli e sono trattenuti fortemente nelle aree interstiziali nella profondità dei mezzi stessi (vedi FIG. 1 B&C). Per questo motivo raramente è sufficiente la sola espansione idraulica ed il lavaggio in controcorrente. Normalmente, prima del lavaggio, o contemporaneamente, occorre usare una pulitura con aria per frammentare i solidi agglomerati. A volte i solidi sono talmente "cementati" sulla superficie dei granuli che, oltre all'aria, è necessario anche usare dei getti idraulici per ottenere la disgregazione dei solidi accumulati.

Il filtro FCA non utilizza né l'aria né i getti idraulici. I solidi raramente saranno spinti nel mezzo filtrante oltre i 6 o i 12 mm, a seconda delle caratteristiche delle particelle trattenute.

will be the same, or perhaps lower, than the conventional filter when the same design parameters are used. The reader might tend to believe that the depth filter is advantageous over the FCA because it backwashes less often regardless of the fact that it does not remove any more solids than does the FCA. However, this is not the case, as will be seen shortly in the following sections.

THE SECOND STEP

The particulates are removed from the liquid in the first step of filtration. Next, the particulates must be removed from the media which has collected them this is the second step and is just as important, if not more so, than the first step. If there is no means of removing the solids from the media, then no more filtration will occur; the shear forces will simply drive the solids completely through the media with no appreciable reduction of solids between the influent and effluent of the filter. By removing the solids effectively, the first step can again take place.

The effective removal of solids from the media must be accomplished differently for the depth filters than is done for the FCA. Since there are longer periods of time between backwash cycles and greater terminal headlosses (as high as 3 m) in depth filters, the solids removed are compacted at the media surface and held more tightly in the interstitial areas within the depth of the media (see FIG. 1 B&C). Because of this, a simple hydraulic expansion and backwash can seldom be used. Typically, prior to a hydraulic backwash, or concurrently, an air scour will be used to break up the compacted solids. The solids on the surface are many times so "cemented" together that surface hydraulic spray jets may be necessary in addition to the air scour to insure disruption of the accumulated solids.

The FCA does not utilize any air scour cycle or additional hydraulic spray jets. The solids seldom will be driven into the media more than 6 to 12 mm depending on the solids

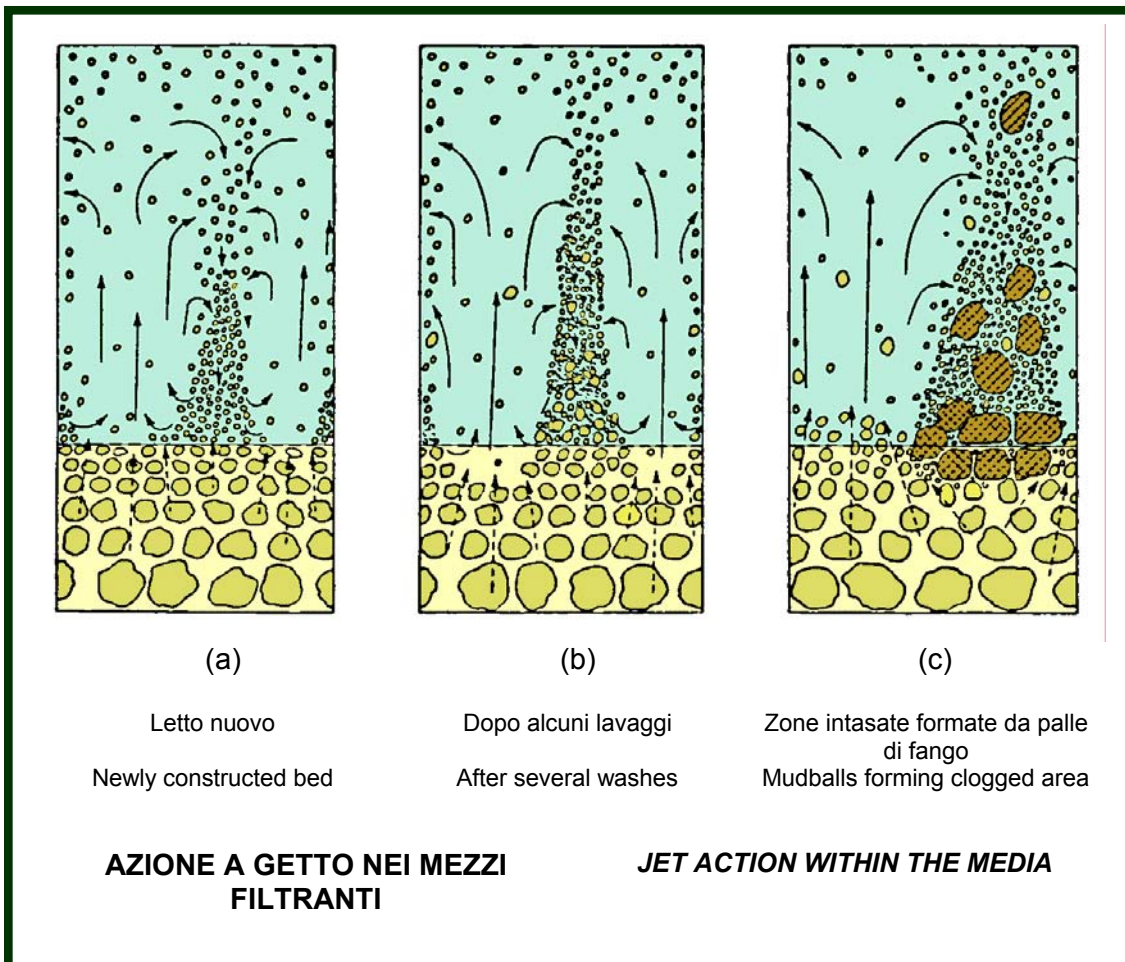
Inoltre questi solidi non si congiungono o "cementano", grazie alla bassa perdita di carico (normalmente 150 - 300 mm) che è usata nel funzionamento di un FCA ed anche perché i mezzi sono lavati in controcorrente più frequentemente.

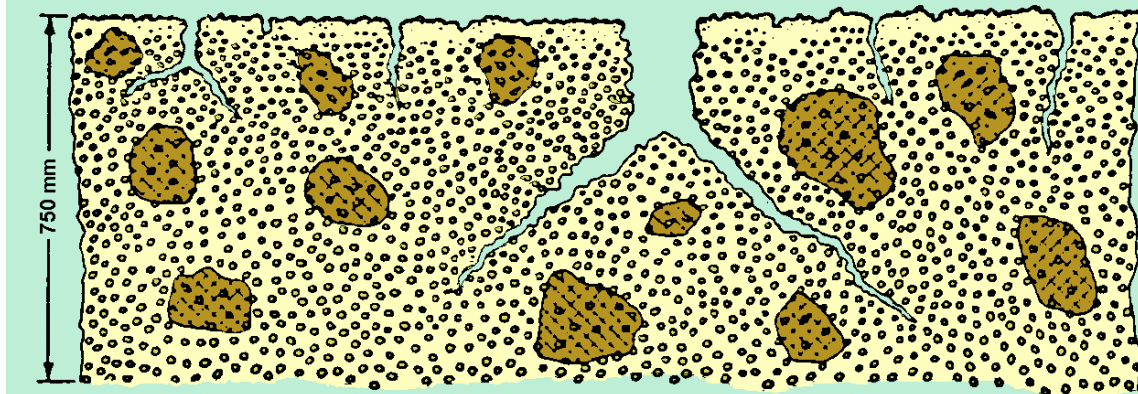
Un argomento che riguarda il progetto dei sistemi di filtrazione è quello che riguarda il sistema di sostegno dei mezzi filtranti. I filtri tradizionali usano blocchi prefabbricati muniti di fessure, ugelli, tubazioni, piastre porose, ecc. Alcuni di questi presentano più difficoltà di funzionamento di altri. I migliori sembrano essere i sistemi a piastra porosa che distribuiscono l'acqua di lavaggio in controcorrente in modo più uniforme e non dipendono dal mezzo filtrante per distribuire il flusso idraulico ascendente nell'intero letto del filtro. Gli ugelli, le tubazioni, ecc. distribuiranno l'acqua per il lavaggio in alcuni punti e dipenderà dalla resistenza creata dal mezzo se il flusso si distribuirà radialmente da ogni punto per controllare l'intero letto filtrante.

characteristics. These solids forming the filtration mat do not compact or "cement" together as above, because of the low terminal headloss (typically 6" to 12") which is used in the FCA operation and because the media is backwashed at more frequent intervals.

One area of concern to all designers of filtration systems has been the underdrain support system. Conventional filters use precast blocks with slot openings, nozzles, pipe laterals, porous plate, etc. Some of these have more operational difficulties than others. The best of these underdrain supports appear to be the porous plate systems which will distribute the backwash water more evenly initially and not depend on the media to distribute the upward hydraulic velocities over the entire filter bed.

Nozzles, pipe laterals, etc. will add the backwash water at several points under the media and depend on the resistance created by the media to distribute the backwash water radially from each point to provide backwash water for the entire bed.

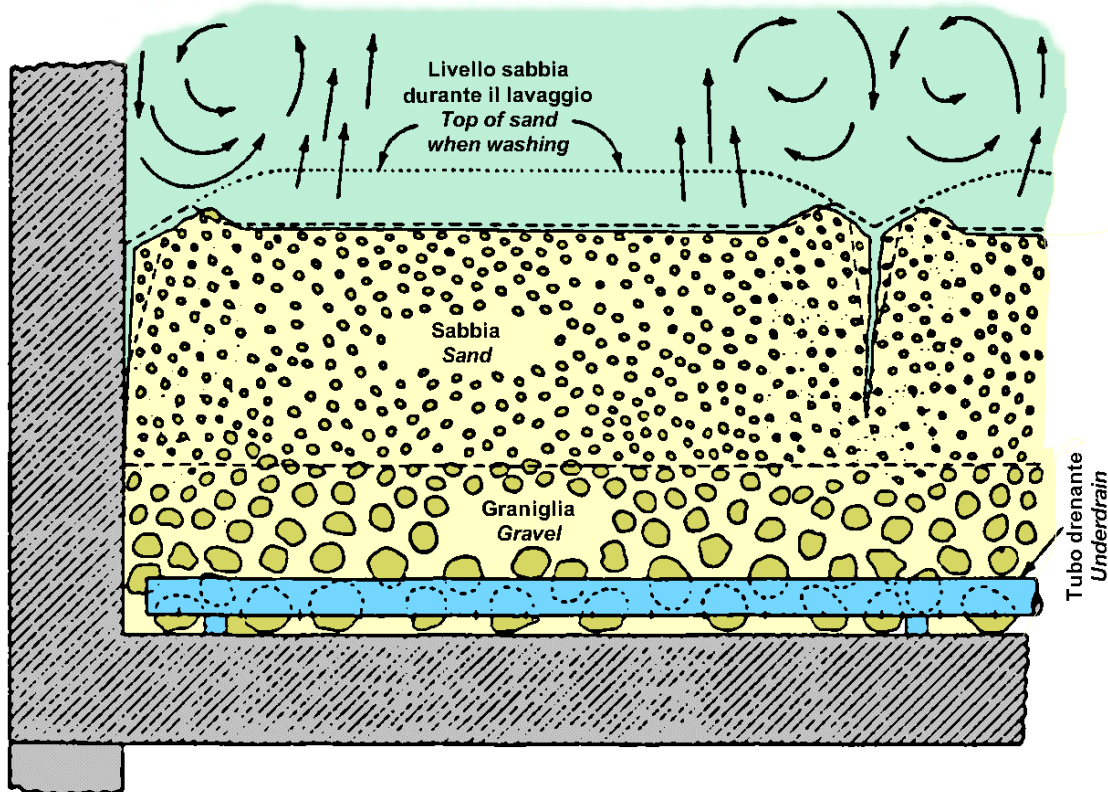




SPACCATURE SUPERFICIALI DOVUTE ALL'INTASAMENTO ED ALLA FORMAZIONE DI PALLE DI FANGO

SURFACE CRACKS CAUSED BY CLOGGING AND MUDBALL FORMATION

Fig 3



AREE INTASATE NEL FILTRO CON EVIDENZIATA LA SEPARAZIONE DALLA PARETE

CLOGGED AREAS IN FILTER WITH WALL SEPARATION SHOWN

Fig 4

Tutti questi problemi, associati ai lavaggi in controcorrente dei filtri convenzionali, sono conseguenti dei lunghi intervalli tra i lavaggi in controcorrente, della profondità dei mezzi filtranti e dei sistemi di supporto. Forse può sembrare troppo semplice, ma è stato verificato che il sistema FCA non presenta nessuno di questi problemi. L'FCA lava in controcorrente ad intervalli più ravvicinati, con minime perdite di carico, ed i solidi sono facilmente rimossi non appena che il mezzo filtrante viene espanso. Inoltre il filtro FCA presenta un pettine in polipropilene che sgretola il tappeto filtrante nel caso che il lavaggio in controcorrente ne avesse necessità. Il supporto del mezzo filtrante è realizzato con delle piastre porose che distribuiscono in modo uniforme l'acqua del controlavaggio nel mezzo, a velocità ascendenti costanti.

Vi è la convinzione che, poiché i filtri convenzionali sono controlavati meno spesso, possano consumare meno acqua. La seguente tabella indica i volumi dell'acqua ed i costi energetici del controlavaggio relativi a diversi sistemi di filtrazione.

I dati importanti di questa tabella sono: il controlavaggio come percentuale della portata affluente, la grandezza della pompa necessaria al controlavaggio e il volume di controlavaggio al giorno. La percentuale d'acqua usata per il controlavaggio è anche sorprendente, considerando che i filtri convenzionali sono lavati una volta al giorno.

CONCLUSIONI

Quando si progettano sistemi di filtrazione e si discute di teorie di filtrazione, è fondamentale conoscere il concetto di filtrazione del FCA. I meccanismi di filtrazione e le teorie di controlavaggio sono completamente differenti dal concetto di filtro convenzionale e bisogna considerarle per capire i vantaggi del FCA. Per ultimo bisogna sapere che altrettanto buona, se non migliore, è la qualità dell'effluente prodotta usando il concetto di filtrazione superficiale.

All the above problems associated with conventional filter backwashing are a result of the long periods between backwash, the media depth, and the underdrain systems. It, perhaps, sounds too simple; but it is a fact that the FCA filter typically does not experience any of the problems discussed above. The FCA backwashes at frequent enough intervals against minimal terminal headloss that the solids are easily dislodged when the media is expanded. In addition, the FCA incorporates a polypropylene scarifier to physically disrupt the filter mat if the hydraulic backwash does need assistance. The underdrain support is a porous plate which easily distributes backwash water under the media at constant upward velocities through the media. The shallow media gives little resistance to the upward backwash velocities and aids in the uniformity of backwash distribution.

Mentioned earlier was the idea that since the conventional filters are backwashed less often, there is a savings on backwash water. The following table has been developed to indicate back-wash volumes and energy costs associated with filter systems.

The important information in this table is the B.W. as percent of influent flow, pump sizing for B.W. requirements, and B.W. volume/day data. The percent of water used for backwash is also surprising, considering the conventional filters are backwashed once per day.

CONCLUSIONS

When designing filter systems and discussing filtering theories, it is imperative that the FCA filtration concept be understood. The mechanisms of filtration and backwash theories are distinctly different from the conventional filter concept and must be considered in order to understand the advantages the FCA has. And, finally, it must be understood that at least as good, if not better, effluent quality is produced when using the surface filter concept.

ACQUA DI SCARICO MUNICIPALE / MUNICIPAL WASTEWATER

CONTROLAVAGGI A CONFRONTO

BACWASH COMPARISONS

DATI: 726 m³/h a 80 l/min/m² = 150 m² di superficie filtrante
20-50 mg/l di SST – acqua di scarico municipale da trattamento secondario
850 l/min per m² – portata specifica di C.L.

BASIS: 726 m³/h @ 80 l/min/m² = 150 m² filter area
20-50 mg/l TSS - secondary municipal wastewater as influent
850 l/min/m² B.W. rates

Tipo di filtro <i>Filter type</i>		FCA	INTERMEDIO <i>INTERMEDIATE</i>	CONVENZIONALE <i>CONVENTIONAL</i>
Dimensioni filtro <i>Filter dimensions</i>	m	4,8 x 30,0 (a)	4,8 x 30,0 (b)	6,0 x 24,0 (c)
Numero di celle filtranti <i>Number of filter cells</i>		150	34	4
Dimensioni cella di filtrazione <i>Filter cell dimensions</i>	m	4,8 x 0,2	4,8 x 0,9	6,0 x 6,0
Superficie cella filtrante <i>Filter cell area</i>	m ²	0,96	4,32	36
Portata di controlavaggio <i>Backwash flow rate</i>	lts/min	815	3670	30.600
Numero di cicli di controlavaggio al giorno <i>Number of B.W. cycles per day</i>		8 (d)	1,5 (e)	1 (f)
Durata del ciclo <i>Duration of cycle</i>	min	57 (g)	170 (h)	40 (i)
Volume di controlavaggio per ciclo <i>B.W. volume per cycle</i>	m ³	46	636	1210
Volume di controlavaggio per giorno <i>B.W. volume per day</i>	m ³	372	954	1210
Volume filtrato <i>Filtered volume</i>	m ³ /giorno <i>m³/day</i>	17.070	16.500	16.240
% di controlavaggio rispetto all'affluente <i>B.W. as % of influent flow</i>	%	2,1	5,5	6,9
Portata pompa per controlavaggio <i>Pump sizing for B.W. requirements</i>	lts/min	815	3635	30.300
Numero di pompe richiesto <i>Number of pumps required</i>		2 (j)	1	2
Prevalenza totale <i>Total dynamic head</i>	m	6	9	12
Potenza di ogni pompa <i>Approximate power for each pump</i>	kW	2,2	11	45
Potenza totale <i>Total pumping power</i>	kW	4,4	11	90
Costo elettrico giornaliero <i>Daily electric cost</i>	kWh/giorno <i>kWh/day</i>	34	49	60

- | | |
|--|--|
| (a) Mezzo filtrante singolo – profondità 280 mm | <i>Single media 280 mm deep</i> |
| (b) Mezzo filtrante doppio – 400 mm di sabbia + 400 mm di antracite in scaglie | <i>Dual media - 400 mm sand + 400 mm crushed anthracite</i> |
| (c) Mezzo filtrante multiplo – profondità 1200 mm | <i>Mixed, multi-media, etc. - 1200 mm deep</i> |
| (d) Normalmente 4-8 per giorno | <i>Normally 4-8 per day</i> |
| (e) Normalmente 3-5 per 48 ore | <i>Normally 3-5 per 48 hours</i> |
| (f) In alcuni casi meno di 1 C.L./giorno; tuttavia generalmente è 1 C.L./giorno | <i>Some case less than 1 B.W./day; however generally is 1 B.W./day</i> |
| (g) Velocità del ponte a 0,53 m/min. per 30 m = 57 min | <i>Bridge speed @ 0,53 m per minute for 30 m = 57 minutes</i> |
| (h) Ogni cella è in C.L. 5 min (5 x 34 = 170 min) | <i>Each cell is B.W. 5 minutes (5 x 34 = 170 minutes)</i> |
| (i) 10 min per cella = 40 min | <i>10 minutes per cell = 40 minutes</i> |
| (j) Solo 1 pompa è usata per il controlavaggio; tuttavia una seconda pompa è utilizzata per la pulizia del mezzo filtrante e deve essere aggiunta nei costi elettrici. | <i>Only 1 pump used for washwater removal; however, a second pump is used to clean media and must be included in electric costs.</i> |

ACQUA DI FIUME / RIVER WATER

CONTROLAVAGGI A CONFRONTO

BACKWASH COMPARISONS

DATI: 660 m³/h a 110 l/min/m² = 100 m² di superficie filtrante
 1-3 NTU – acqua di fiume chiarificata
 650 lit/min/m² – portata specifica di C.L. (FCA)
 340 lit/min/m² – portata specifica di C.L. (Convenzionale)
 55 Nm³/h/m² – portata aria di pulitura (Convenzionale)

BASIS: 660 m³/h @ 110 l/min/m² = 100 m² filter area
 1-3 NTU – river clarified water as influent
 650 lts/min/m² B.W. rates (FCA)
 340 lts/min/m² B.W. rates (Conventional)
 55 Nm³/h/m² Air Scouring (Conventional)

	Tipo di filtro <i>Filter type</i>		FCA	CONVENZIONALE CONVENTIONAL
Dimensioni filtro <i>Filter dimensions</i>	m		5.0 x 20.0 (a)	7.0 x 14.0 (b)
Numero di celle filtranti <i>Number of filter cells</i>			100	2
Dimensioni cella di filtrazione <i>Filter cell dimensions</i>	m		5.0 x 0.2	3.5 x 14.0
Superficie cella filtrante <i>Filter cell area</i>	m ²		1.0	49.0
Portata di controlavaggio <i>Backwash flow rate</i>	lts/min		650	16,660
Numero di cicli di controlavaggio al giorno <i>Number of B.W. cycles per day</i>			5 (c)	2
Durata del ciclo <i>Cycle time</i>	min		40 (d)	15 (e)
Volume di controlavaggio per ciclo <i>B.W. volume per cycle</i>	m ³		27 (f)	83 (g)
Volume di controlavaggio per giorno <i>B.W. volume per day</i>	m ³ /giorno <i>m³/day</i>		135 (h)	166 (i)
Volume filtrato <i>Filtered volume</i>	m ³ /giorno <i>m³/day</i>		15,840	15,840
% di controlavaggio rispetto all'affluente <i>B.W. % as to influent flow</i>	%		0.8	1.1
Portata pompa per controlavaggio <i>Pump sizing for B.W. requirements</i>	lts/min		650	16,660
Numero di pompe richiesto <i>Number of pumps required</i>			2	1
Prevalenza totale pompe <i>Pumps total dynamic head</i>	m		5	7
Potenza di ogni pompa <i>Approximate power for each pump</i>	kW		2.5	30.0
Potenza totale pompaggio <i>Total pumping power</i>	kW		5.0	30.0
Potenza totale traslazione ponte <i>Total traveling bridge power</i>	kW		0.4	-
Portata di aria <i>Air scouring flow rate</i>	Nm ³ /h		-	2,695
Prevalenza totale compressori aria <i>Air blowers total dynamic head</i>	m		-	3.5
Potenza totale compressori aria <i>Total air blowers power</i>	kW		-	44.0
Potenza totale <i>Total power</i>	kW		5.4	74.0
Costo elettrico giornaliero <i>Daily electric cost</i>	kWh/giorno <i>kWh/day</i>		18 (j)	30 (h)

- (a) Mezzo filtrante singolo – profondità 280 mm
- (b) Mezzo filtrante singolo – profondità 1,000 mm
- (c) Normalmente 4-6 per giorno
- (d) Velocità del ponte a 0.5 m/min. per 20 m = 40 minuti

- Single media 280 mm depth*
- Single media 1,000 mm depth*
- Normally 4-6 per day*
- Bridge speed @ 0.5 m per minute for 20 m = 40 minutes*

TECHNICAL BRIEFS

- (e) 15 minuti per cella = 10 minuti di lavaggio e strofinio con aria + 5 minuti di risciacquo *15 minutes per cell = 10 minutes of backwashing and air scouring + 5 minutes of rinsing*
- (f) $27 \text{ m}^3 = 650 \text{ lts/min}$ per 40 minuti *$27 \text{ m}^3 = 650 \text{ lts/min}$ for 40 minutes*
- (g) $83 \text{ m}^3 = 16,660 \text{ lts/min}$ per 5 minuti di risciacquo *$83 \text{ m}^3 = 16,660 \text{ lts/min}$ for 5 minutes of rinsing*
- (h) $135 \text{ m}^3/\text{giorno} = 27 \text{ m}^3/\text{ciclo}$ per 5 cicli/giorno *$135 \text{ m}^3/\text{day} = 27 \text{ m}^3/\text{cycle}$ for 5 cycles/day*
- (i) $166 \text{ m}^3/\text{giorno} = 83 \text{ m}^3/\text{ciclo}$ per 2 cicli/giorno *$166 \text{ m}^3/\text{day} = 83 \text{ m}^3/\text{cycle}$ for 2 cycles/day*
- (j) $18 \text{ kWh/giorno} = 5.4 \text{ kW}$ per 40 minuti per 5 cicli/giorno per 1/60 ora/minuti *$18 \text{ kWh/day} = 5.4 \text{ kW}$ for 40 minutes for 5 cycles/day for 1/60 hour/min*
- (h) $30 \text{ kWh/giorno} = 30 \text{ kW}$ per 15 minuti per 2 cicli/giorno per 1/60 ore/min + 44 kW per 10 minuti per 2 cicli/giorno per 1/60 ora/minuti *$30 \text{ kWh/day} = 30 \text{ kW}$ for 15 minutes for 2 cycles/day for 1/60 hour/min + 44 kW for 10 minutes for 2 cycles/day for 1/60 hour/min*