

TECHNICAL BRIEFS

TRATTAMENTO DELL'ACQUA PER USO POTABILE

Obiettivi del Trattamento

- **Controllo Microbiologico**
 - Disinfezione
 - Rimozione fisica dall'acqua
- **Controllo Chimico**
 - Rimozione della materia organica naturale (NOM)
 - Rimozione dei composti inorganici indesiderati (per es. ferro, manganese)
- **Controllo Fisico/Estetico**
 - Colore, odore, gusto

TRATTAMENTO CONVENZIONALE

Per raggiungere questi obiettivi il trattamento convenzionale è composto dai seguenti processi:

- Pretrattamenti
- Aerazione (opzionale)
- Ossidazione chimica e Disinfezione primaria (opzionale)
- Coagulazione
- Flocculazione
- Chiarificazione
- Filtrazione su mezzo granulare
- Disinfezione finale

PRETRATTAMENTI

Prima dei processi di chiarificazione, l'acqua richiede diversi pretrattamenti quali:

- Grigliatura
- Misura della portata
- Equalizzazione (opzionale)
- Divisione della portata
- Dissabbiatura (opzionale)
- Presedimentazione (opzionale)

Grigliatura

Le acque superficiali contengono pesci e detriti che possono otturare o danneggiare le pompe, occludere le tubazioni e causare problemi nell'impianto di trattamento. Inoltre possono contenere alte concentrazioni di sedimenti sospesi.

La grigliatura è necessaria per evitare che entrino nell'impianto di chiarificazione corpi solidi di grosse e medie dimensioni, sia sospesi che flottanti.

La griglia è di norma a barre metalliche con luce libera da 25 a 75 mm.

L'obiettivo di ridurre gli interventi manuali di pulizia impone sempre più spesso l'automazione della strigliatura, anche negli impianti più piccoli. Questo è inevitabile quando è presente il rischio dell'arrivo improvviso di materiale vegetale (foglie in autunno) che tende ad ammassarsi sulla griglia e provocare rapidamente l'occlusione completa della presa d'acqua.

Per eliminare il materiale troppo piccolo da essere trattenuto dalle griglie a barre, si possono utilizzare delle griglie fini. Queste possono essere del tipo a cestello, o in linea, con aperture da 10 mm, pulite manualmente o idraulicamente con controlavaggio.

Misura della portata

Il dosaggio dei prodotti chimici nel processo di trattamento, è proporzionale alla portata dell'acqua grezza. E' quindi importante avere un misuratore di portata efficace.

Nelle tubazioni in pressione è comunemente impiegato un misuratore di portata per pressione differenziale del tipo Venturi. In alternativa è possibile utilizzare un misuratore magnetico se la velocità attraverso il misuratore è di almeno 1,5 metri al secondo.

Nei canali aperti si utilizza un canale Parshall.

Dal misuratore di portata selezionato il segnale deve essere trasmesso al centro di controllo dell'impianto di trattamento

Equalizzazione

L'equalizzazione è usata per limitare variazioni importanti della portata affluente, della temperatura e della concentrazione degli inquinanti.

Si ottiene in questo modo:

- Il buon funzionamento meccanico degli equipaggiamenti d'agitazione e di dosaggio
- La possibilità di seguire le variazioni del pH dell'acqua grezza e dell'acqua di decantazione

- Si assicura che il dosaggio dei coagulanti sia fatto proporzionalmente alla portata d'ingresso
- Permette di accrescere il dosaggio dei coagulanti nel caso del peggioramento delle qualità dell'acqua grezza (aumento della torbidità, dei solidi sospesi, ecc.)

Nel bacino d'equalizzazione è necessaria la miscelazione che è realizzata con deflettori, agitatori meccanici o con l'aerazione.

La potenza richiesta dalla miscelazione varia con la geometria del bacino con un gradiente di velocità minimo di 3×10^{-3} 1/sec per mantenere in sospensione i solidi leggeri.

I deflettori, sebbene siano il sistema di miscelazione meno efficiente, prevengono i cortocircuiti e sono indubbiamente i meno costosi. Sono sconsigliati per le acque con alte concentrazioni di solidi sedimentabili.

I miscelatori meccanici sono sicuramente il sistema più efficiente e sono di norma raccomandati per piccole vasche d'equalizzazione, per acque con alte concentrazioni di solidi sospesi e per acque il cui grado d'inquinamento varia notevolmente.

La miscelazione con aria è il metodo che consuma più energia. L'aerazione, in aggiunta alla miscelazione, riduce i composti ossidabili chimicamente così come strappa fisicamente i composti organici.

Divisione della portata

Pur non essendo un processo di trattamento, la divisione della portata è fondamentale nel progetto di un impianto di depurazione.

Per assicurare continuità di funzionamento durante la manutenzione straordinaria, gli impianti sono frequentemente progettati con due linee parallele, identiche, dalla miscelazione dei prodotti chimici alla filtrazione.

Normalmente non si sdoppiano i processi d'aerazione e di presedimentazione.

Dissabbiatura

La dissabbiatura non è di norma necessaria negli impianti di trattamento dell'acqua superficiale. Può essere impiegata invece per rimuovere la sabbia fine dall'acqua di pozzo.

Per quest'operazione i separatori a ciclone sono i sistemi più efficaci.

Presedimentazione

La presedimentazione è ottenuta senza l'impiego di coagulanti chimici.

Normalmente la presedimentazione non è necessaria quando si utilizza acqua proveniente da laghi o bacini.

Al contrario, quando l'acqua proviene da fiumi la cui torbidità supera spesso il valore di 10.000 unità, il trattamento di presedimentazione, è necessario per rimuovere grosse quantità di solidi sedimentabili.

La presedimentazione deve raggiungere una riduzione della torbidità di 0,5 log (68 %) sulla base mensile media di almeno 11 mesi all'anno.

Valori di Torbidità Affluente ed Effluente risultanti da una riduzione di 0,5 Log

Torbidità media mensile (NTU)		Torbidità media mensile (NTU)	
Affluente	Effluente	Affluente	Effluente
2	0,6	50	15,8
5	1,6	60	19,0
10	3,2	70	22,1
20	6,3	80	25,3
30	9,5	90	28,5
40	12,6	100	31,6

Il tempo di detenzione deve essere di circa 3 ore. La profondità della vasca varia da 3,0 a 4,5 m corrispondente ad un carico idraulico da 1,0 a 1,5 m³/h per m² di superficie.

I cortocircuiti possono essere ridotti al minimo facendo attenzione al progetto dei sistemi d'ingresso e d'uscita dell'acqua. La velocità di sfioro non deve superare i 10 m³/h per metro di stramazzo.

Quando le condizioni dell'acqua da trattare richiedono continuamente il processo di presedimentazione, occorre prevedere lo sdoppiamento della vasca.

Devono essere previsti sistemi di by-pass e di troppo-pieno.

La presedimentazione ha anche la funzione d'equalizzazione riducendo le fluttuazioni dell'affluente in particolare della portata e degli altri parametri qualitativi.

AERAZIONE

L'aerazione è quel processo nel quale l'acqua è posta in contatto con l'aria con lo scopo di trasferire sostanze volatili nell'acqua o fuori di essa.

Queste sostanze volatili includono:

- Ossigeno
- Anidride carbonica
- Idrogeno solforato
- Metano
- Composti volatili organici responsabili di sapore e odore.

Obiettivo dell'Aerazione

- Ossidare Ferro e Manganese
- Rimuovere parzialmente la CO₂
- Ridurre le sostanze che producono sapore e odore
- Rimuovere i composti organici volatili sospettati di essere cancerogeni

L'aerazione è spesso impiegata negli impianti che trattano acqua di falda per la rimozione del ferro e del manganese.

- L'aggiunta di ossigeno alle acque di falda, normalmente privi di ossigeno, permette di ossidare il ferro ed il manganese disciolto a forme insolubili che possono essere rimosse con la sedimentazione e la filtrazione.
- L'aerazione produce la parziale rimozione dell'anidride carbonica riducendo il costo dell'addolcimento dell'acqua ottenuta con la precipitazione con calce e l'innalzamento del pH.
- L'aerazione riduce la concentrazione di sostanze che producono sapore e odore, come l'idrogeno solforato e i composti organici volatili.
- L'aerazione rimuove i composti organici volatili sospettati di essere cancerogeni

Tipi d'Aeratori

- Aeratori a caduta d'acqua (spruzzatori, cascate, vassoi multipli)
- Aeratori a bolle d'aria (diffusori)
- Aeratori meccanici (turbine)

Gli aeratori più comunemente impiegati sono:

- Gli aeratori a caduta d'acqua come gli ugelli spruzzatori, le cascate e le unità a vassoi multipli
- Gli aeratori a diffusione o a bolle che sfruttano il passaggio di bolle d'aria compressa attraverso l'acqua
- Gli aeratori meccanici che utilizzano una girante motorizzata, sola o con la combinazione di un sistema d'iniezione d'aria

Nel trattamento dell'acqua il tipo di aeratore più utilizzato è quello a caduta con vassoi multipli. L'efficacia di questo sistema può essere aumentata con l'uso di chiusure e ventilatori che provvedono alla ventilazione controcorrente.

OSSIDAZIONE CHIMICA E DISINFEZIONE PRIMARIA

L'ossidazione chimica si usa, al posto dell'aerazione, quando questa non è sufficiente a ridurre il Ferro ed il Manganese presenti nell'acqua, a valori accettabili. Una volta ossidati il ferro ed il manganese sono solidi e possono essere rimossi attraverso la coagulazione, la sedimentazione e la filtrazione.

La disinfezione primaria si effettua per disattivare virus, *Guardia* e *Cryptosporidium*.

In molti casi un disinfettante primario può anche essere usato come ossidante.

La tabella seguente mostra gli ossidanti/disinfettanti che possono essere usati nel trattamento delle acque.

Ossidante/Disinfettante	Ossidante	Disinfettante Primario
Cloro	SI	SI
Clorammine	NO	NO
Biossido di cloro	SI	SI
Ozono	SI	SI
Raggi ultravioletti (UV)	NO	SI
Permanganato di potassio	SI	NO

I più usati ossidanti/disinfettanti sono il cloro gassoso, l'ipoclorito di sodio ed il biossido di cloro. Quando si aggiunge cloro gassoso il pH dell'acqua diminuisce mentre, quando si aggiunge l'ipoclorito, il pH sale.

Il cloro oltre ad essere un potente disinfettante, riduce l'idrogeno solforato, rimuove il colore e controlla l'odore ed il gusto dell'acqua. Aiuta nella rimozione delle particelle e diminuisce la torbidità oltre a controllare la crescita delle alghe e del biofilm nelle vasche dell'impianto di trattamento.

Quando si richiede solo un ossidante allora il più usato è il permanganato di potassio. Il suo sovradosaggio porta ad aumentare il livello di manganese nell'acqua trattata e a colorarla di rosa.

COAGULAZIONE

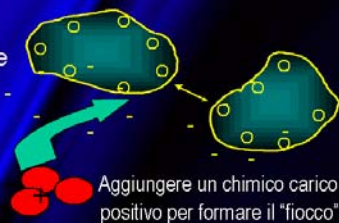
La coagulazione è necessaria per rimuovere il materiale organico e la torbidità dall'acqua e consiste in una rapida miscelazione con l'agente coagulante.

Le sostanze indesiderate più difficilmente eliminabili dall'acqua naturale sono quelle che hanno piccole dimensioni (particelle colloidali che provocano la torbidità) e quelle che sono disciolte (materie organiche che causano la colorazione dell'acqua e la formazione dei trialometani (THMs)). Queste sostanze hanno abitualmente una carica elettrica negativa che impedisce alla particelle di agglomerare le une alle altre per formarne di più voluminose (fiocchi) e facilitare la loro eliminazione con la sedimentazione e la filtrazione.

Lo scopo della coagulazione è quindi quello di neutralizzare le cariche di queste sostanze al fine di favorire la formazione di un agglomerato. Per far questo si aggiunge, di norma, all'acqua un prodotto chimico caricato positivamente denominato "coagulante" (sali di alluminio o di ferro, polimeri o l'equivalente). L'iniezione del coagulante si effettua mentre si agita l'acqua fortemente al fine di disperderlo rapidamente. La reazione del coagulante si produce rapidamente in un'acqua calda (da 1 a 10 sec) ma può essere fortemente rallentata in acqua fredda ($< 4^{\circ}\text{C}$).

Coagulazione: la "Chiave" della Rimozione delle Particelle

- Nelle acque superficiali le particelle sono cariche negativamente (sopra pH 5)
 - Batteri
 - Molecole organiche
 - Sali inorganici
 - Argilla



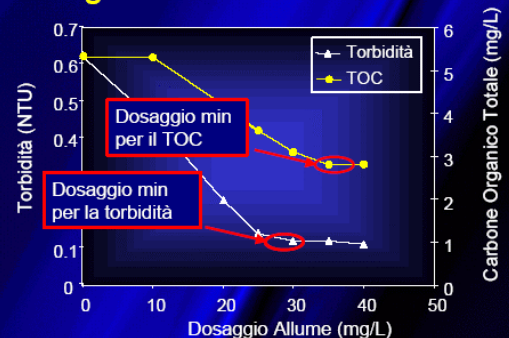
Ottimizzazione delle Condizioni di Coagulazione

- Obiettivo di un "jar test" è ottimizzare i processi di coagulazione/flocculazione per migliorare la rimozione delle particelle:
 - Dose del coagulante
 - Tipo di coagulante (allume, cloruro ferrico, policloruro di alluminio)
 - Velocità di miscelazione
 - Tempi di detenzione



Apparecchiatura standard da "jar-test"

Ottimizzazione delle Condizioni di Coagulazione



La scelta ed il dosaggio dei coagulanti deve essere determinato in laboratorio con un *jar test* sull'acqua da trattare o meglio con degli impianti pilota. Il dosaggio è funzione della natura dell'acqua grezza (pH, alcalinità, solidi sospesi, ecc.) e sul grado d'abbattimento richiesto dei parametri come (torbidità, colore, carbone organico totale (TOC), THMs, ecc.).

Numerosi prodotti chimici sono utilizzati nei processi di coagulazione e flocculazione. Ad ogni prodotto sono associati vantaggi e svantaggi.

I coagulanti ed i loro coadiuvanti comunemente usati sono generalmente classificati come coagulanti inorganici e polielettroliti. A loro volta i polielettroliti si dividono in polimeri sintetici organici e polimeri naturali organici.

Coagulanti inorganici

I tre principali gruppi di coagulanti inorganici sono:

- Derivati dell'Alluminio
- Derivati del Ferro
- Calce

Nella tabella seguente si riassumono i vantaggi e gli svantaggi dei coagulanti inorganici.

Nome	Vantaggi	Svantaggi
Solfato d'Alluminio (Allume) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	Facile da maneggiare e da applicare Il più usato Produce meno fango della calce Molto efficace con pH tra 6,5 e 7,5	Aggiunge solidi disciolti all'acqua (sali) Efficace in un ristretto campo di pH
Alluminato di Sodio $Na_2Al_2O_4$	Efficace con acque dure Sono normalmente sufficienti bassi dosaggi	Spesso usato con Allume Molto caro Inefficace con acque dolci
Policloruro di Alluminio (PAC) $Al_{13}(OH)_{20}(SO_4)_2Cl_{15}$	In molte applicazioni il fiocco formato è più denso e sedimenta più velocemente che con l'Allume	Non usato comunemente Pochi dati accumulati in confronto con gli altri derivati dell'Alluminio
Solfato Ferrico $Fe_2(SO_4)_3$	Efficace con pH 4,0-6,0 e 8,8-9,2	Aggiunge solidi disciolti all'acqua (sali) Normalmente richiede un aumento dell'alcalinità
Cloruro Ferrico $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Efficace con pH tra 4 e 11	Aggiunge solidi disciolti all'acqua (sali) Consuma più di due volte l'alcalinità che l'Allume
Solfato Ferroso $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Non è sensibile al pH	Aggiunge solidi disciolti all'acqua (sali) Normalmente richiede un aumento dell'alcalinità
Calce $Ca(OH)_2$	Usata comunemente Molto efficace Non aggiunge sali all'effluente	Dipende molto dal pH Produce grosse quantità di fango Un sovradosaggio produce un effluente di bassa qualità

L'aggiunta di altri prodotti chimici oltre a quelli che servono alla coagulazione (calce, soda caustica, acido, ecc.) deve essere effettuata ad una distanza ragionevole prima del punto d'iniezione del coagulante. Questa distanza deve essere valutata con un *jar test*.

Nel bacino di coagulazione viene di norma utilizzato un dispositivo meccanico di miscelazione rapida, spesso verticale ad elica. Il tempo di detenzione varia da 30 secondi a 2 minuti, con 1 minuto quello più usato.

L'intensità e la durata della miscelazione del coagulante deve essere controllata per prevenire un'insufficiente od eccessiva miscelazione. Un'eccessiva miscelazione può rompere il fiocco formato mentre un'insufficiente può produrre un'inadeguata dispersione del coagulante con un dosaggio insufficiente.

Per le miscelazioni veloci il valore accettato per il gradiente G è di 500-1000 1/s.

Coadiuvanti di coagulazione

In alcune acque, anche con un forte dosaggio di coagulante, non si sviluppa un fiocco soddisfacente. In questi casi, un coadiuvante di coagulazione polimerico può essere aggiunto, dopo il coagulante, per accelerare le reazioni, per produrre un fiocco denso e quindi per ridurre la quantità di coagulante richiesto. Grazie al "ponteggio" del polimero, i piccoli fiocchi di particelle si agglomerano rapidamente in un fiocco molto più coeso che sedimenta rapidamente.

I coadiuvanti di coagulazione aiutano inoltre ad ottenere una soddisfacente coagulazione in un più ampio campo di pH, oltre a non essere meno influenzati dall'alcalinità, dalla durezza e dalla torbidità dell'acqua.

Anche nella stagione fredda, quando le basse temperature rallentano le reazioni chimiche e la formazione dei fiocchi, l'uso dei coadiuvanti di coagulazione diventa interessante.

Generalmente i più efficaci coadiuvanti di coagulazione sono delle poliacrilammine leggermente anioniche con peso molecolare molto alto.

Il tipo di coadiuvante di coagulazione più usato, per la precipitazione dei metalli pesanti, è quello sintetico organico con dosaggi di 0,5–2,0 mg/l.

Procedura di coagulazione

Il processo di coagulazione include di norma la seguente procedura:

- Se necessario, aumentare l'alcalinità (il bicarbonato ha il vantaggio di innalzare l'alcalinità senza aumentare il pH)
- Aggiungere il coagulante
- Miscelare rapidamente il coagulante all'acqua

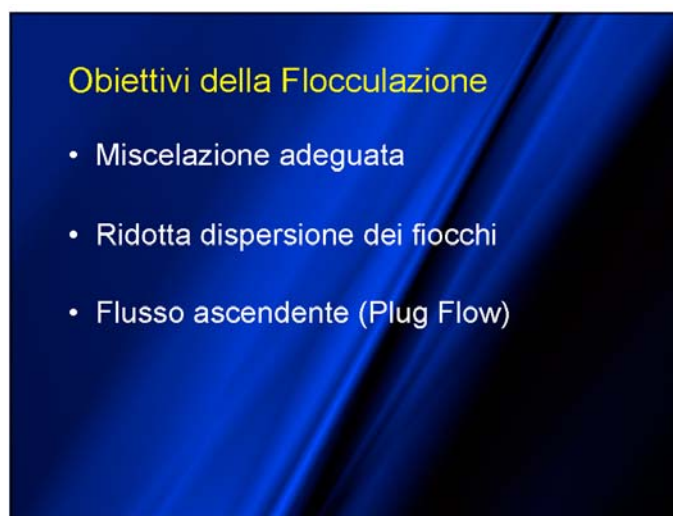
FLOCCULAZIONE

Lo scopo del processo di flocculazione è quello di aggregare le particelle in un più ampi gruppi di particelle o "fiocchi" che sedimenteranno nel successivo processo di sedimentazione.

Attraverso un'agitazione lenta e prolungata, le particelle sospese collidono con le altre e formano i fiocchi. La miscelazione deve essere sufficiente a far sì che le particelle collidano ma anche delicata per prevenire che le particelle flocculate si rompano.

È probabile comunque che accada che alcuni fiocchi si disperdano.

Per esempio nei chiarificatori a letto di fango, come gli aggregati crescono in dimensione nella zona di flocculazione, è facile che si disperdano nella sovrastante camera di miscelazione a causa delle forze di taglio ivi presenti.



I fattori chiave per un processo efficace di flocculazione includono:

- Miscelazione adeguata
- Limitata rottura del fiocco
- Condizione di flusso ascendente (Plug Flow)

Per ottenere questi risultati occorre:

- Miscelare con un valore variabile del gradiente di velocità G da 20 a 100 1/sec.
- Se il flusso da trattare è diviso tra due flocculatori entrambi i miscelatori devono avere la stessa velocità. Il dosaggio del coagulante è più facilmente ottimizzato su una velocità.
- Le condizioni d'ingresso ed uscita devono evitare la dispersione del fiocco.
- I deflettori della vasca di flocculazione devono procurare un flusso ascendente.

Gli agitatori di flocculazione possono essere a:

- Pale orizzontali assemblate su un albero orizzontale sommerso. L'unità di motorizzazione può essere posta in una camera secca laterale o al di sopra dell'acqua.
- Pale verticali assemblate su un albero verticale parzialmente immerso. L'unità di motorizzazione è posta al di sopra dell'acqua.

CHIARIFICAZIONE

Il successivo processo è quello della chiarificazione che ha come scopo quello di produrre un'acqua chiarificata.

Esistono vari tipi di vasche di sedimentazione (chiamate anche chiarificatori) usate per il trattamento dell'acqua potabile.

La tabella seguente mette a confronto i vari bacini di sedimentazione e i chiarificatori.

Opzioni di Chiarificazione

- **Sedimentazione**
 - I fiocchi coagulati sedimentano sul fondo della vasca per effetto della gravità
- **Chiarificazione a Letto di Fango**
 - Le particelle coagulate attraversano un letto di fango flocculato dove vengono intrappolate
- **Flottazione ad Aria Disciolta (DAF)**
 - L'aria disciolta "flotta" le particelle coagulate su in sommità alla vasca, dove vengono schiumate

Tipo	Vantaggi	Svantaggi
Applicabile per Presedimentazione e Sedimentazione		
Flusso Orizzontale	- Facile funzionamento e manutenzione	
Vasca Rettangolare	- Sopporta i sovraccarichi - Va bene per trattare grosse portate	- Suscettibile al vento ed alle correnti di densità (cause di cortocircuito)
Vasca Circolare	- Facile rimozione del fango - Può raggiungere elevate efficienze di chiarificazione	
Applicabile per Sedimentazione		
Chiarificatore a Flusso Ascendente	- Elevate efficienze di chiarificazione	- Richiede un controllo costante della portata e della qualità dell'acqua - Limitato nelle dimensioni
Alimentazione Centrale	- Facile rimozione del fango	- Cortocircuiti
Alimentazione Periferica	- Adatto all'acqua di pozzo con alte concentrazioni di solidi	- Potenziali cortocircuiti
Sedimentatore a Pacchi Lamellari (flusso orizzontale o flusso ascendente)	- Aumenta la capacità di carico idraulico e l'efficienza di sedimentazione dei bacini a flusso orizzontale e dei chiarificatori	- Si possono formare dei depositi (carbonato di calcio) che bloccano il flusso - Le alghe possono occludere i canali - Possibile scarsa flocculazione
Chiarificatore Reattore	- Buona chiarificazione grazie all'effetto "semina"	- Richiede una costante portata e qualità dell'acqua - Richiede un maggior controllo dell'operatore
Alto ricircolo e Rimozione Meccanica del Fango	- Sopporta i sovraccarichi	- Dipende da un gruppo di rotazione - Limitato nelle dimensioni
Letto di fango e Rimozione Meccanica del Fango	- Buona rimozione della torbidità	- Molto sensibile ai sovraccarichi - Richiede 2-4 giorni per la formazione del letto di fango

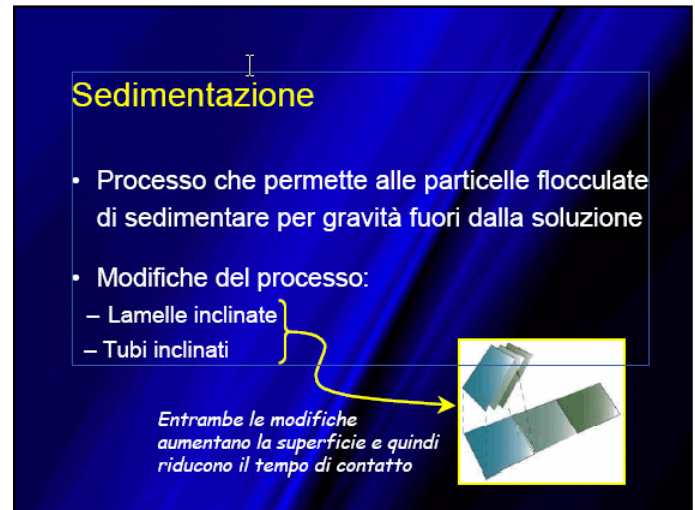
Come per tutte le altre unità di processo, quella della sedimentazione deve essere ottimizzata per produrre un'acqua sedimentata di qualità.

Gli obiettivi come torbidità effluente per un processo di sedimentazione sono:

- **1 NTU per condizioni di acqua grezza ≤ 10 NTU**
- **2 NTU per condizioni di acqua grezza > 10 NTU**

I fattori chiave per un processo efficace di sedimentazione includono:

- Minimizzare i corto-circuiti
- Adottare dei sistemi di rimozione del fango che non risospendano le particelle e che non producano correnti nell'acqua
- Il carico superficiale, o la velocità ascensionale, devono permettere un adeguato tempo di sedimentazione. Se una particella flocculata non sedimenta dipende dalla densità della particella o da valore del carico superficiale
- Controllare continuamente o frequentemente l'acqua sedimentata.

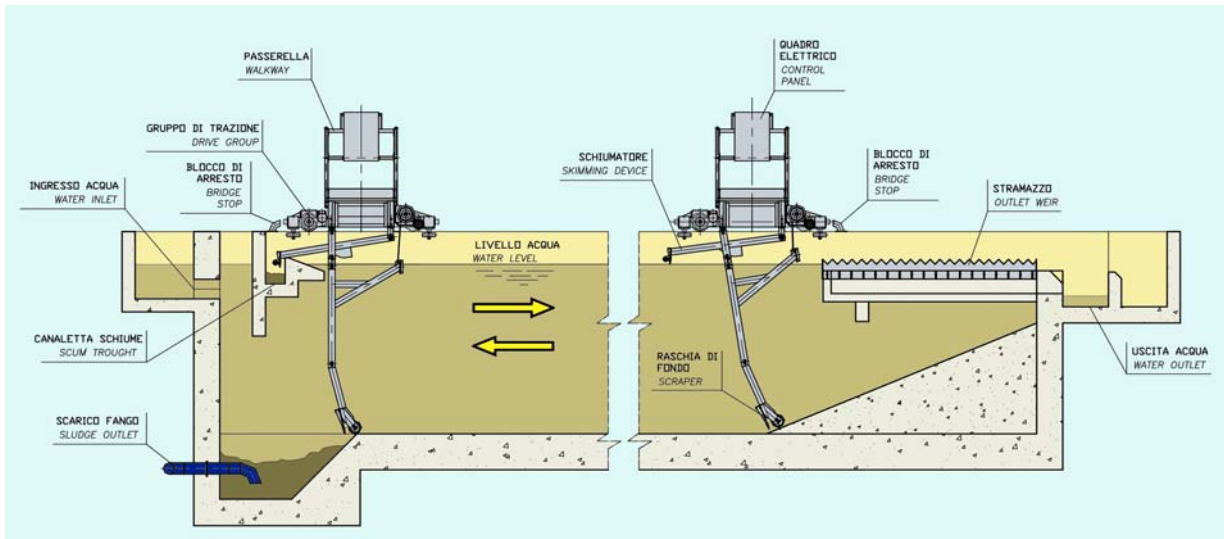


Il livello del letto di fango è un altro fattore importante per ottimizzare le condizioni di sedimentazione. Un impianto di trattamento deve avere delle procedure standard di funzionamento (SOPs) per l'estrazione del fango che includano controlli periodici della linea di pompaggio fango. L'occlusione della linea fango porta alla distruzione del letto di fango e conseguentemente alla inefficacia del processo di sedimentazione.

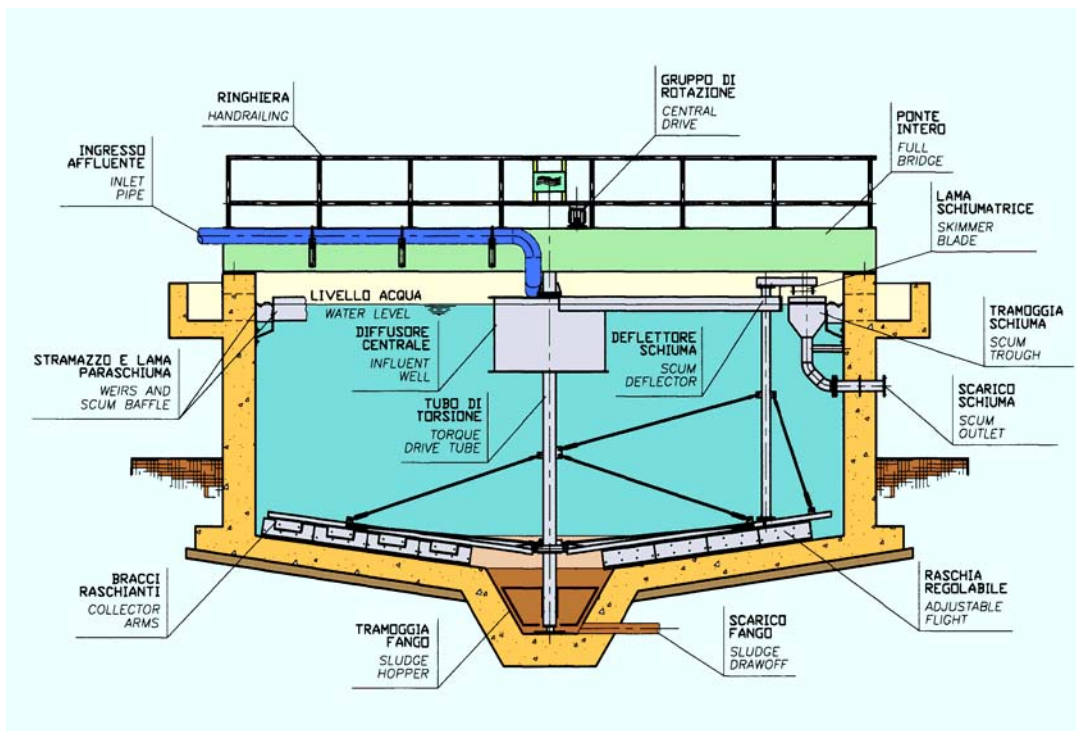
Sedimentazione Convenzionale

La sedimentazione convenzionale usa ampi bacini dove sedimentano i fiocchi per gravità. Queste vasche hanno dei lunghi tempi di detenzione (3-4 ore) e dei carichi superficiali bassi (12-40 l/min/m²).

L'ingresso dell'acqua è posto ad un'estremità e l'uscita all'altra. Questo tipo di sedimentatore normalmente richiede una zona di miscelazione per flocculare le particelle prima della chiarificazione. Le vasche possono essere rettangolari o circolari con fondo piatto o conico. Numerosi sono gli esempi utilizzati nel mondo.



Tipico sedimentatore rettangolare



Tipico sedimentatore circolare

Sedimentatori a pacchi lamellari

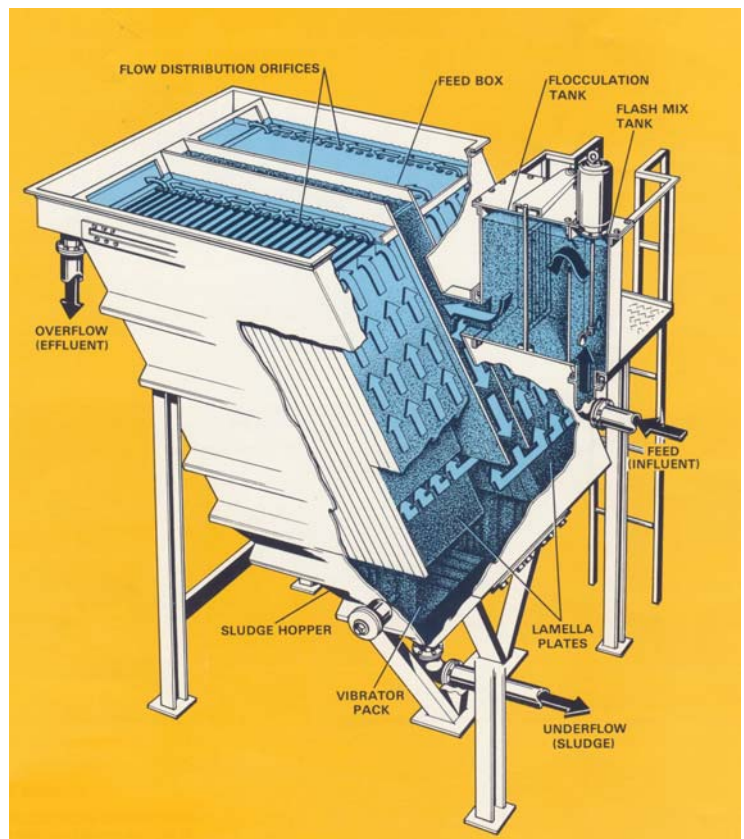
Il vantaggio dei sedimentatori lamellari è la possibilità di impiegare carichi superficiali più alti (40-200 l/min/m²).

I sedimentatori a pacchi lamellari sono molto sensibili alle variazioni della temperatura ed hanno delle limitazioni nel trattare acque torbide o con presenza di alghe. I canali di passaggio tra le piastre o dei tubi possono essere occlusi dalle alghe e dai solidi con la formazione di cortocircuiti ed il peggioramento delle prestazioni di chiarificazione.

Si possono usare sedimentatori compatti, come quello riportato nella figura accanto, o sedimentatori a pianta circolare o rettangolare, muniti dei tradizionali sistemi di raschiatura meccanizzata del fondo ed equipaggiati con pacchi lamellari sostenuti da adeguati supporti.

E' possibile anche, con l'uso dei pacchi lamellari, migliorare le prestazioni di sedimentatori esistenti.

I fanghi residui hanno una concentrazione in solidi tra 0,1 e 0,5%.



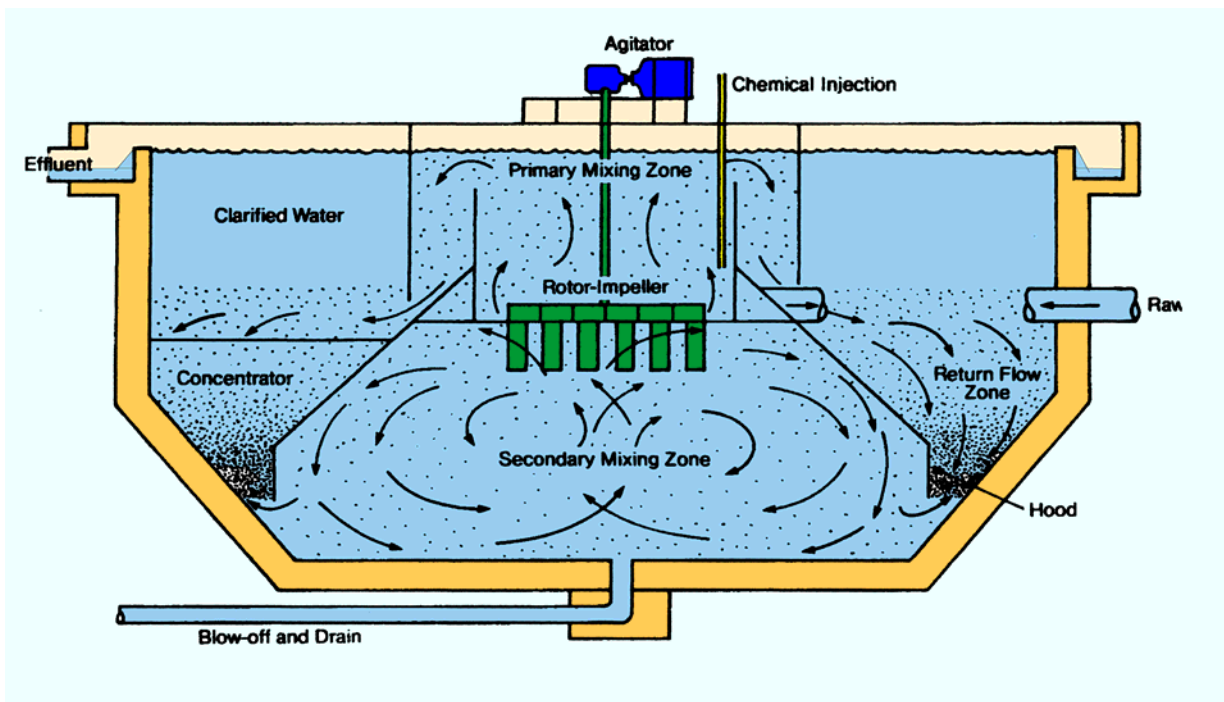
Chiarificatori Reattori

I chiarificatori reattori combinano, in una sola unità, la miscelazione, la flocculazione e la sedimentazione. La destabilizzazione colloidale (coagulazione) può essere meno efficace ma hanno dimostrato importanti vantaggi nel riciclare fiocchi preformati.

Con la “semina” dell’acqua da trattare con fiocchi precedentemente formati, è possibile ridurre sia il dosaggio del coagulante sia il tempo di formazione del fiocco.

Il letto di fango serve come un filtro per migliorare la qualità dell’acqua effluente.

Queste unità hanno dei tempi di detenzione ridotti (45 min) e carichi superficiali di 120 l/min/m^2 .



Tipico Chiarificatore Reattore

Di contro il costo della vasca e della carpenteria interna necessaria alla suddivisione dei vari comparti è più elevato.

Flottatori ad aria disciolta

Nei flottatori i solidi sono separati dall'acqua flottando il fiocco sulla superficie dell'acqua. Per far questo il processo introduce dell'acqua ricircolata saturata con aria.

Flottazione ad Aria Disciolta (DAF)

- Obiettivo simile alla sedimentazione
 - Separare il materiale particolato dal liquido
- Principio generale
 - I materiali colloidali più leggeri sono più facilmente flottabili che sedimentabili
- DAF usata principalmente con acque che:
 - Contengono alghe
 - Hanno bassa torbidità, bassa alcalinità e sono molto colorate

Flottazione ad Aria Disciolta (DAF)

- In confronto con la Sedimentazione i vantaggi della Flottazione sono:
 - Richieste ridotte di coagulante
 - Vasche più piccole
 - Concentrazione più alta del fango
 - Messa in funzione più veloce

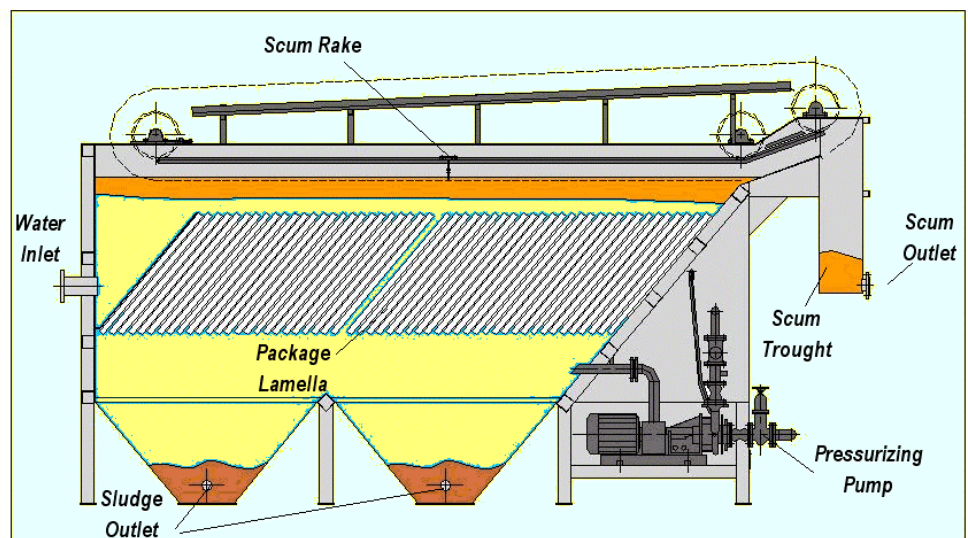
I flottatori lavorano con dei carichi superficiali fino a 320 l/min/m^2 .

I flottatori possono produrre acque chiarificate con torbidità inferiori a 0,5 NTU e possono raggiungere alte prestazioni anche senza l'uso di polimeri.

I flottatori sono insensibili alle variazioni di temperatura ed hanno dimostrato di essere vantaggiosi nel trattare acque molto fredde e salate.

Contrariamente alla decantazione, che richiede la formazione di larghi fiocchi (circa 100 microns e più), la flottazione necessita di fiocchi più piccoli (dell'ordine di qualche decina di microns). Questo permette l'utilizzo di tempi di flocculazione inferiori dell'ordine di 5-10 minuti.

Altro importante vantaggio dei flottatori è quello di poter chiarificare acque con elevate concentrazioni di alghe, che sono notoriamente difficili da sedimentare.



I flottatori producono infine un fango residuo con concentrazioni, in solidi, dal 2 al 5%. Queste concentrazioni sono circa quattro volte maggiori a quelle che si possono ottenere con sedimentatori a pacchi lamellari od a letto di fango.

I fanghi estratti meccanicamente da un flottatore possono essere inviati direttamente ai processi di disidratazione, come nastro presse o centrifughe, senza ulteriore ispessimento.

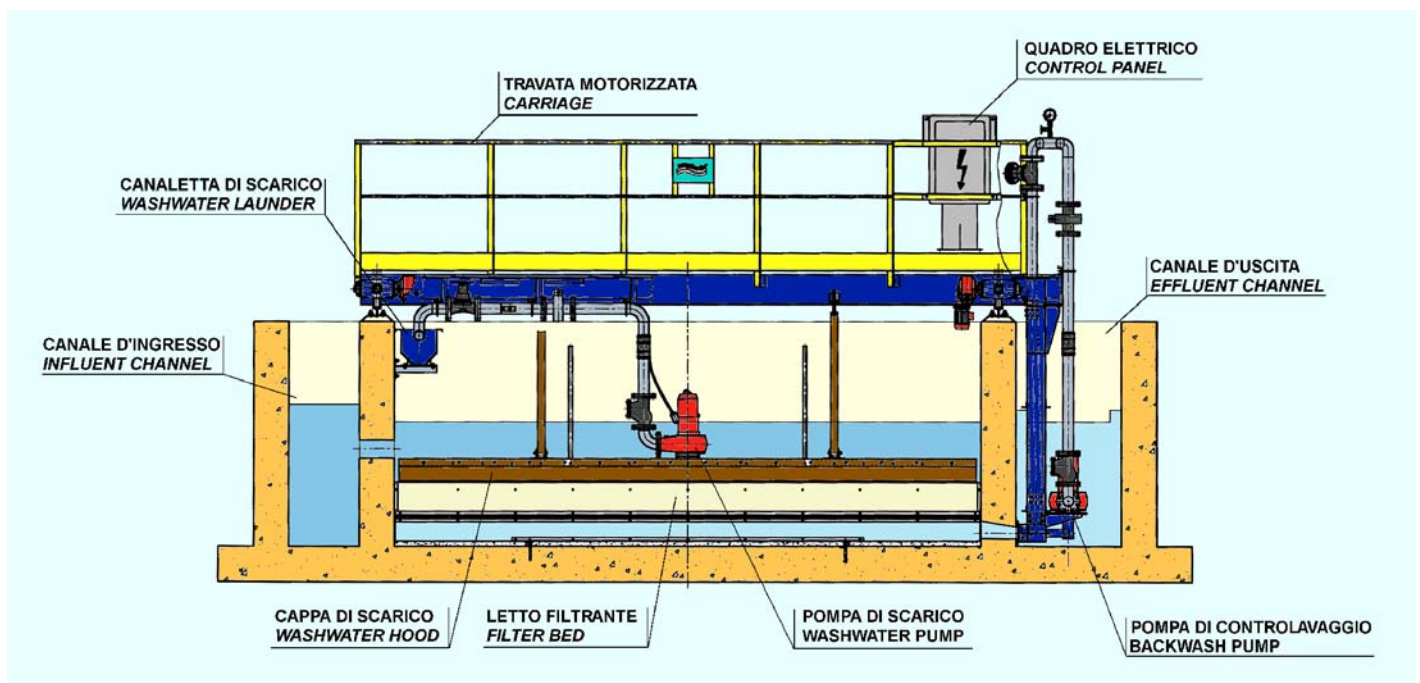
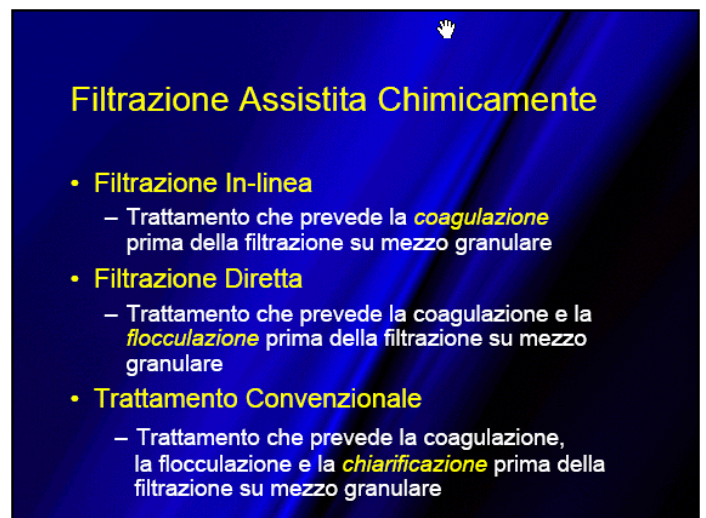
FILTRAZIONE

Lo scopo della filtrazione è quello di rimuovere le piccole particelle ed i patogeni non eliminati dai processi di coagulazione, flocculazione e chiarificazione.

La filtrazione più usata è quella su mezzo granulare che può essere di sola sabbia o di sabbia e antracite.

Gli spessori degli strati filtranti possono variare, per la sola sabbia, da 300 a 600 mm e, per quelli a doppio stato, da 400+400 fino a 300+600 mm.

Le velocità di filtrazione variano da 80 a 160 l/min/m².



Tipico filtro a gravità con ponte traslante

DISINFEZIONE FINALE

Lo scopo della disinfezione finale è quello di ridurre il livello dei microrganismi in modo da minimizzare il rischio per la salute degli utenti.

I Principi della Disinfezione dell'Acqua Potabile

- **Disinfezione:**
 - l'inattivazione dei microrganismi patogeni con l'aggiunta di un prodotto chimico all'acqua o con l'applicazione di luce UV.
- **Inattivazione:**
 - perdita d'infettività sugli esseri umani
- **Sterilizzazione:**
 - la distruzione (morte) di tutti gli organismi viventi in un materiale

Che cosa è "un'acqua disinfettata"?

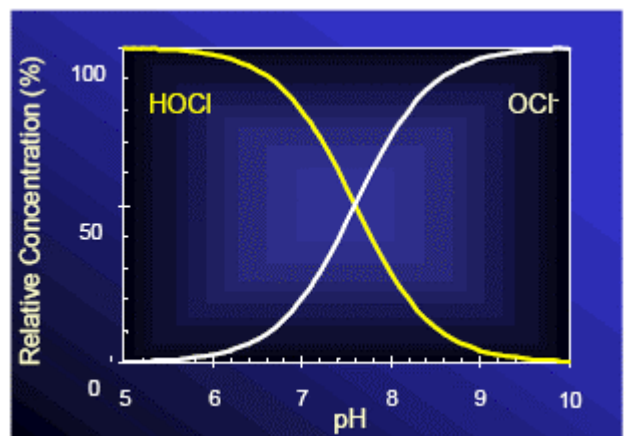
- **Acqua disinfettata non è "sterile"**
 - HPC (metodo analitico per la misura dei batteri)
- **Normativa U.S. Environmental Protection Agency EPA (ODWS)**
 - 99,9% inattivazione del *Giardia lamblia*
- **Acqua disinfettata:**
 - E' stato raggiunto un desiderato livello d'inattivazione dei microrganismi per ridurre al minimo il rischio per la salute e portarlo ad un livello *accettabile*.
- **Rischio accettabile per l'EPA: regola 1 su 10.000**
 - Il trattamento deve assicurare che la popolazione non sia soggetta ad un rischio superiore di una infezione su 10.000 persone all'anno.

Vari sono i prodotti utilizzati per la disinfezione, ognuno con i suoi vantaggi e svantaggi, ma i più usati rimangono il cloro gassoso e l'ipoclorito.

Come si vede dall'andamento della concentrazione di HOCl in funzione del pH, per ridurre i consumi di Cloro è opportuno controllare il pH dell'acqua da trattare portandolo a circa 7,0.

I Opzioni di Disinfezione nel Trattamento dell' Acqua

- **Cloro libero (Cl_2)**
 - Il disinfettante più usato
 - Molto sensibile al pH a causa della relazione tra HOCl/OCl⁻
- **Svantaggi del Cl_2**
 - Formazione di Trialometani (THMs) ed Acidi Aloacetici (HAAs)
 - Sono richiesti alti dosaggi per il controllo del *Cryptosporidium*



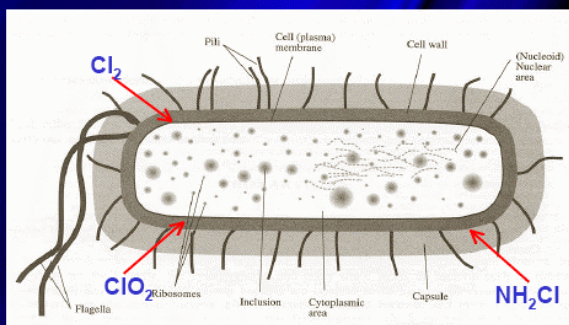
Opzioni di Disinfezione nel Trattamento dell'Acqua

- **Clorammine**
 - Formate con ammoniaca e cloro libero
 - Composto stabile che non produce quantità significanti di Trialometani (THMs)
- **Svantaggi delle Clorammine**
 - Disinfettante relativamente debole
 - Si può verificare la Nitrificazione nei sistemi di distribuzione che contengono alte concentrazioni di ammoniaca

Opzioni di Disinfezione nel Trattamento dell'Acqua

- **Biossido di Cloro (ClO_2)**
 - Non forma THMs o Acidi Aloacetici (HAAs)
 - Disinfettante più potente del cloro libero capace di inattivare il *Cryptosporidium*
 - Molto stabile nei sistemi di distribuzione
- **Svantaggi del ClO_2**
 - Durante alcuni processi di produzione si può formare del Clorito

Disinfezione Chimica



Struttura di un batterio tipico

Cryptosporidium parvum



- Protozoo Parassita
- 4-6 μm di diametro
- Oocisti e 4 Sporozoiti
- Patogeno per l'uomo
- Gastroenterite
- AIDS
- Trasmissione con l'acqua
- Oocisti resistenti ai disinfettanti chimici convenzionali

Opzioni di Disinfezione nel Trattamento dell'Acqua

- **Ozono (O_3)**
 - Ossidante molto potente capace di ridurre il TOC
 - Ha la più alta capacità di disinfezione tra i disinfettanti chimici
- **Svantaggi dell' O_3**
 - Formazione di bromato e di materiale organico biodegradabile
 - Mancanza di disinfettante residuo nei sistemi di distribuzione

Opzioni di Disinfezione nel Trattamento dell'Acqua

- **Luce Ultravioletta (UV)**
 - UV è più efficace del Cl_2 nel disattivare i patogeni
 - Costi ed efficacia
 - I costi si sono dimostrati più bassi del 40-80% per un'inattivazione a $>2\text{-log}$ del *Cryptosporidium* rispetto ad un'inattivazione a 1-2 log con ozono.
- **Svantaggi dell' UV**
 - Misurazione del dosaggio o fluence
 - Mancanza di residuo nei sistemi di distribuzione

Disinfezione dell'Acqua Superficiale (U.S. Environmental Protection Agency)

Norme per il Trattamento dell'Acqua Superficiale (SWTR)

- Si richiede che gli impianti di trattamento acqua superficiale ottengano:
 - 99,9% (3,0 log) rimozione/inattivazione del *Giardia lamblia*
 - 99,99% (4,0 log) rimozione/inattivazione dei virus

SWTR (continua)

- Si considerano ben funzionanti gli impianti di coagulazione/flocculazione/filtrazione che raggiungono:
 - 2,0 log rimozione/inattivazione del *Giardia*
 - 2,0 log rimozione/inattivazione dei virus

La disinfezione deve tuttavia ottenere:

1,0 log rimozione/inattivazione del *Giardia*

2,0 log rimozione/inattivazione dei virus

- Impraticabile e troppo costoso il controllo di *Giardia*
- US EPA ha proposto il concetto di "CT" per assicurare l'ottenimento della disinfezione primaria al minimo costo

$$C(\text{mg/L}) \times T(\text{min}) = CT (\text{mg/L} \cdot \text{min})$$

Tabella che riporta i valori di CT per ozono, biossido di cloro, cloro e clorammine a vari pH e temperature, per ottenere un desiderato log di riduzione/inattivazione.

Valori di CT (mg/L • min) per 90% (1 log) di Inattivazione di *Giardia*

	pH	Temp. Acqua			
		0.5 C	5 C	10 C	15 C
Libero Cl ₂	6	49	35	26	19
	7	70	50	37	28
	8	101	72	54	36
	9	146	104	78	59
Clorammine	6-9	1300	730	620	500
Biossido di Cloro	6-9	21	8.4	7.4	6.3
Ozono	6-9	0.97	0.63	0.48	0.32

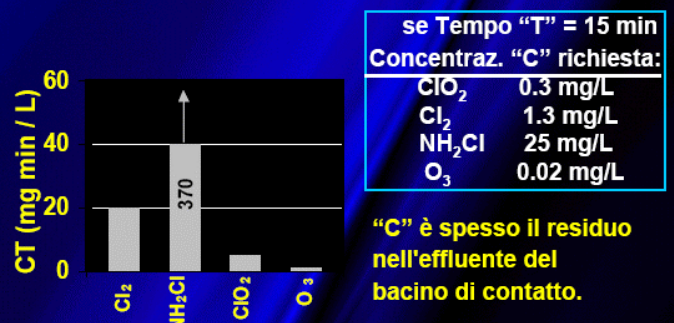
Per ottenere una rimozione del 90% (1 log) d'inattivazione del *Giardia*, il valore di CT, utilizzando Cloro libero, a pH 7 e a 15°C, è pari 28.

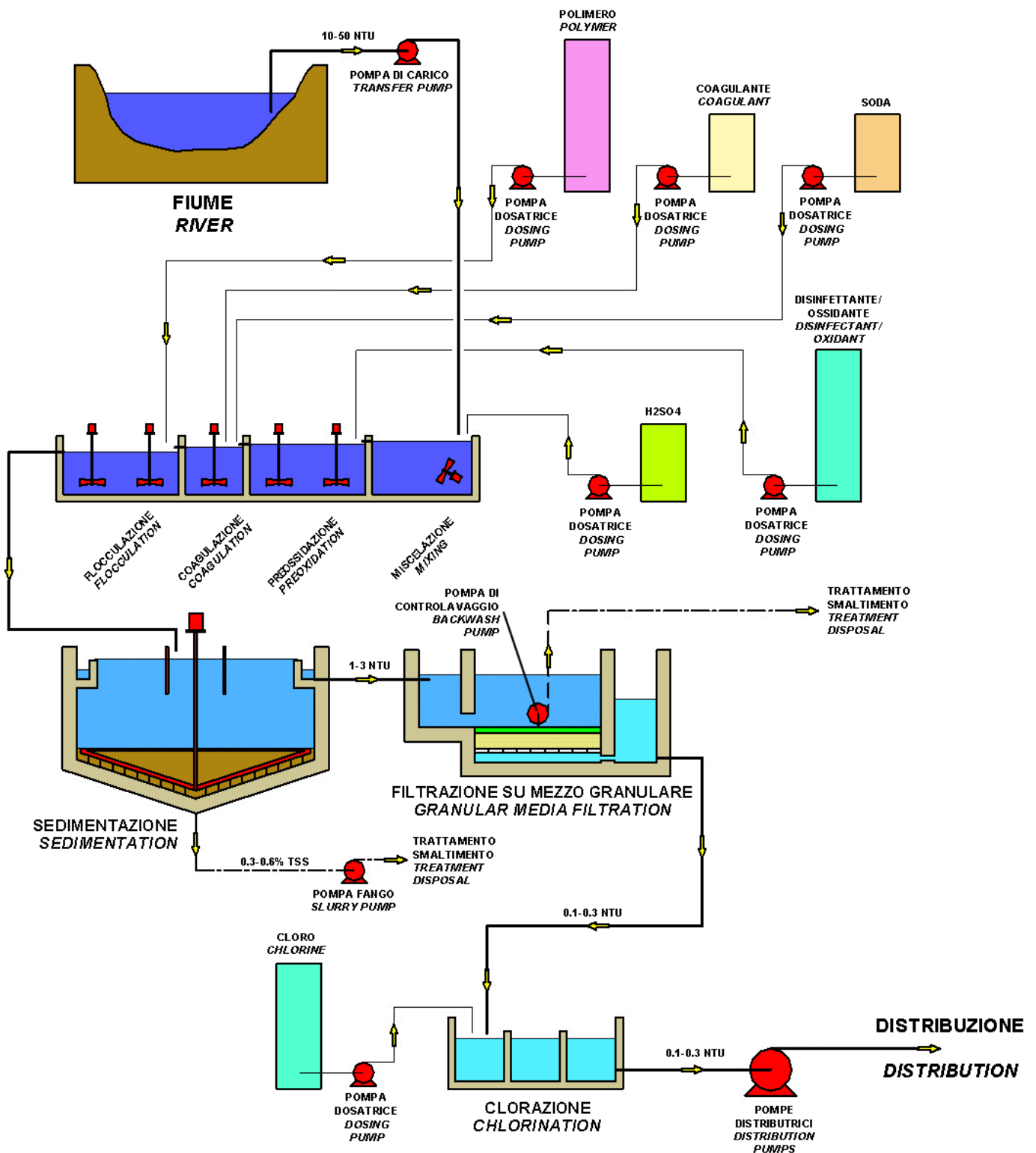
Questo vuol dire che, per avere una concentrazione C di cloro in uscita dal bacino di contatto di 1,3 mg/l, il tempo di contatto dovrà essere pari a $28 / 1,3 = 21,5$ min.

Se, sempre con pH 7, la temperatura sale a 20°C, il CT è uguale a 20 e di conseguenza il tempo di contatto scende a 15 min.

Resistenza del Disinfettante

CT richiesto per 1-log d'inattivazione del *Giardia* (pH 7, 20°C)

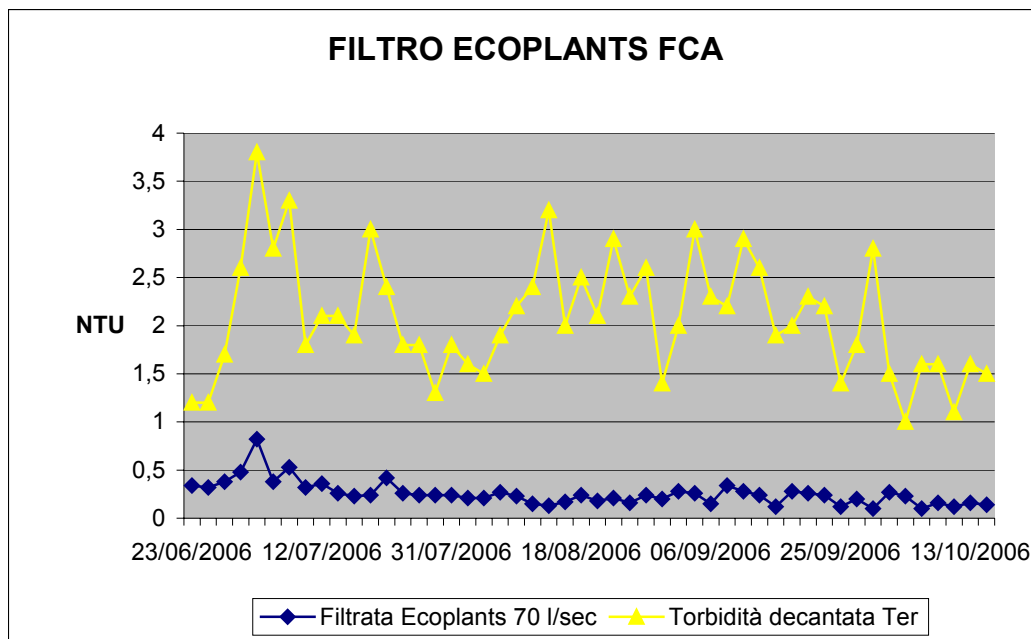




TRATTAMENTO CONVENZIONALE DELL'ACQUA PER USO POTABILE
POTABLE WATER CONVENTIONAL TREATMENT

TECHNICAL BRIEFS

Il grafico seguente riporta i valori di torbidità, prima e dopo un filtro a sabbia a ponte traslante, in un impianto di potabilizzazione che utilizza acqua del fiume Po con torbidità media di 10-20 NTU.



ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO

Dati:

- Acqua di Fiume
- Temperatura 15°C
- pH 7,0
- Torbidità 10-50 NTU

Trattamento Convenzionale con Sedimentazione

	Miscelazione Equalizzazione	Preossidazione	Coagulazione	Flocculazione	Sedimentazione	Filtrazione	Clorazione
Prodotto chimico	Acido Solforico	Cloro	Soda Allume	Polimero			Cloro
pH	<7,0		7,5				
Tempo di detenzione	60 min	15 min	1-5 min	20-30 min	120-180 min		25 min
Gradiente di velocità	$0,3 \times 10^{-3}$ 1/s		300 1/s	30 1/sec			
Carico idraulico					10-20 l/min/m ²	80 l/min/m ²	
Torbidità					1-3 NTU	0,1-0,3 NTU	

Trattamento Convenzionale con Flottazione

	Miscelazione Equalizzazione	Preossidazione	Coagulazione	Flocculazione	Flottazione	Filtrazione	Clorazione
Prodotto chimico	Acido Solforico	Cloro	Soda Allume	Polimero			Cloro
pH	<7,0		7,5				
Tempo di detenzione	60 min	15 min	1-5 min	5 min	20 min		25 min
Gradiente di velocità	$0,3 \times 10^{-3}$ 1/s		300 1/s	30 1/sec			
Carico idraulico					80 l/min/m ²	80 l/min/m ²	
Torbidità					0,5-2,0 NTU	0,05-0,2 NTU	

VANTAGGI NELL'IMPIEGO DELLA FLOTTAZIONE

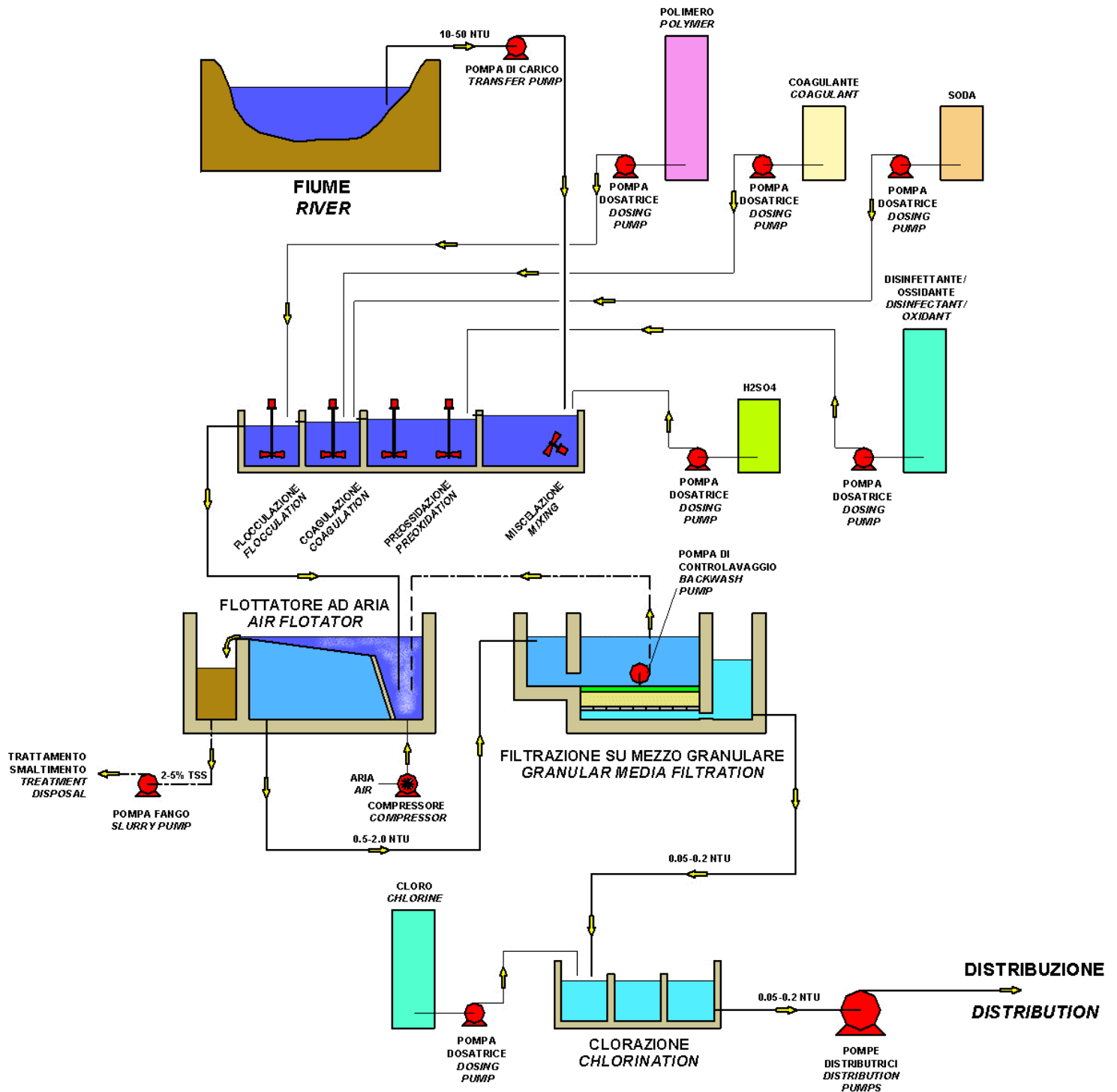
Il trattamento che utilizza la flottazione al posto della sedimentazione tradizionale, risulta particolarmente efficace nella rimozione dei solidi con bassa densità, come la torbidità, il colore, le alghe, i batteri quali il *Cryptosporidium* ed il *Giardia*, o i precipitati organici ed i metalli. Questi, infatti, sono tutti i contaminanti che non sedimentano bene, ma tendono a flottare o rimanere nella colonna d'acqua.

La flottazione inoltre rimuove molti sapori e odori che sono facilmente strappati dall'aria disciolta nell'acqua. Può infine sopportare rapidi cambiamenti di temperatura e di qualità dell'acqua, ottimizzando la chimica di coagulazione.

Il costo di realizzazione dei flottatori è inferiore a quello dei sedimentatori convenzionali sia perché il volume di flocculazione, oltre che la superficie di flottazione, sono un quarto di quelli necessari alla sedimentazione.

La miglior qualità dell'acqua in uscita da un flottatore allunga il tempo di lavoro del filtro prima del controlavaggio di circa il 25%.

La flottazione produce inoltre un fango più concentrato (2 – 5 % in Solidi) che riduce i costi del successivo smaltimento o trattamento di disidratazione.



TRATTAMENTO DELL'ACQUA PER USO POTABILE CON FLOTTATORE
POTABLE WATER DAF TREATMENT