

■ Paolo Berbenni,
Cesare Cristoforetti

P. Berbenni - Politecnico di Milano Diar.

C. Cristoforetti - Consulente settore ambientale.

Trattamenti

È cresciuta, soprattutto negli ultimi anni, l'attenzione verso l'acqua, ritenuta in modo unanime un bene essenziale e indispensabile. Tuttavia molto spesso, l'uomo deve correggerne la qualità, poiché molti fattori, naturali o meno, concorrono in diversi casi a danneggiarla e a renderla di difficile fruizione.

documento



Le acque naturali possiedono caratteristiche chimiche, fisico-chimiche e microbiologiche che non sempre corrispondono alle necessità per i differenti usi. Esse possono richiedere trattamenti complessi e differenti a seconda che si tratti di acque superficiali, stagnanti o correnti (laghi, serbatoi, fiumi, torrenti) o sotterranee (pozzi e sorgenti) o acque di mare o salmastre. La presenza di sostanze inquinanti, inoltre, può richiedere interventi specifici per rimuovere composti organici e inorganici. Il continuo progressivo peggioramento della qualità delle acque di approvvigionamento e la sempre più stringente attenzione alla qualità richiesta per le acque destinate all'utilizzo potabile o industriale prevede lo studio attento dei processi di trattamento. Il presente documento riassume alcune considerazioni riferite a diverse tipologie di acque di approvvigionamento e processi di trattamento per casi pratici.

Trattamento dell'acqua superficiale

Col termine acqua superficiale si intende quella dei laghi, dei serbatoi, dei corsi d'acqua, cioè la massa di acqua dolce che si ritrova sulla superficie della terra. Le acque che provengono da queste fonti possono avere diversa com-

documento

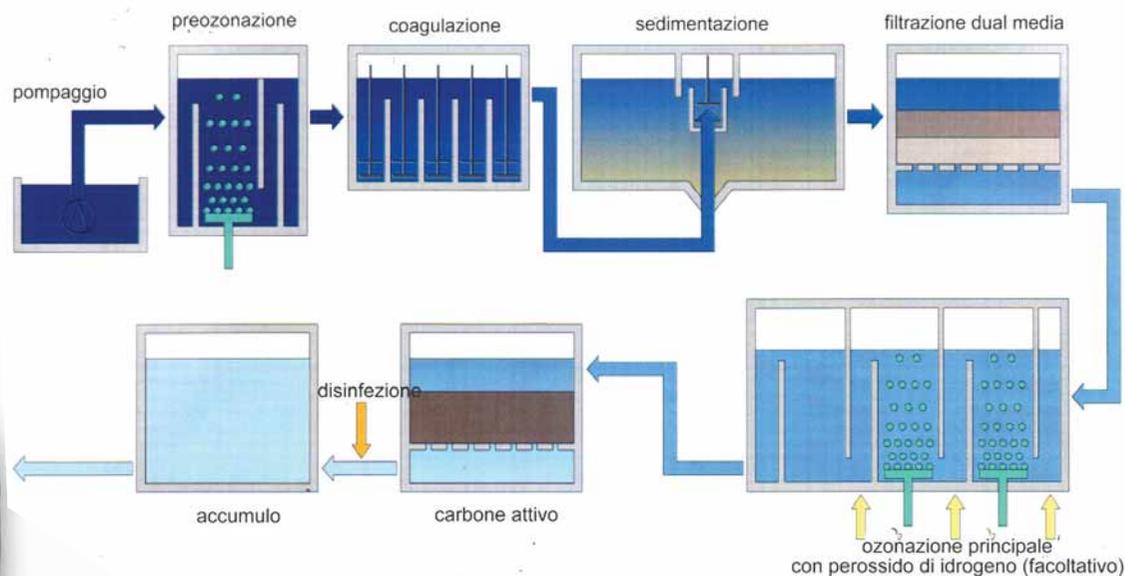


Figura 1 - Schema di impianto di potabilizzazione per acqua superficiale (Austrian Energy).



Tabella 1 - Qualità attesa per acque trattate con processi di ultrafiltrazione (Zenon).

posizione. La principale differenza tra le acque correnti (fiumi) e stagnanti (laghi) è la concentrazione delle sostanze in sospensione (SS). Ad esempio, negli affluenti di destra del fiume Po, provenienti dagli Appennini, si osservano concentrazioni che possono arrivare fino a 10 grammi per litro; i laghi e gli invasi, funzionando da bacini di sedimentazione, possiedono una concentrazione di sostanze in sospensione molto più bassa. Esistono, inoltre, significative differenze e variazioni di altri parametri che richiedono un trattamento dell'acqua, sia generale sia specifico. L'acqua superficiale contiene impurezze di differente origine e natura, quali pesticidi, microrganismi, virus ecc. che possono costituire un pericolo per la salute umana. Per queste ragioni è richiesto il trattamento dell'acqua, allo scopo di poterla utilizzare senza

problemi sia durante lo stoccaggio sia durante la distribuzione nella rete a uso potabile, oppure per le diverse applicazioni industriali. Uno schema di trattamento di acqua superficiale è riportato nella Figura 1, nella quale l'acqua subisce una serie di trattamenti, a partire dall'impiego dello ozono o di altri ossidanti, allo scopo di ottimizzare la flocculazione. Per la rimozione dei fiocchi è possibile utilizzare i processi a membrana. La filtrazione su carbone attivo è presente in quasi tutte le linee allo scopo di adsorbire le sostanze organiche, come i pesticidi. In presenza di sostanze polari a catena corta, per le quali il carbone attivo ha breve durata, o nel caso in cui un singolo ossidante, ad esempio l'ozono, non sia in grado di eliminarle, si possono adottare i processi di ossidazione avanzata, che utilizzano l'ozono in com-

Ingresso	Qualità acqua trattata
Guardia e criptosporidium	Non rilevabile
Coliformi	< 10 cfu/ml
Solidi sospesi	Non rilevabile
Torpidità	< 01 Ntu
Ferro	<0,1 mg/l con aerazione
Manganese	< 0,5 mg/l con ossidazione Mn
Colore	50-95% rimozione con coagulante
Toc	45-80% rimozione con coagulante
Conta particelle	Inferiore 10 particelle /ml
Solfuro di idrogeno	Non rilevabile
Sdi (indice di intasabilità)	Inferiore a 3 100% del tempo

documento

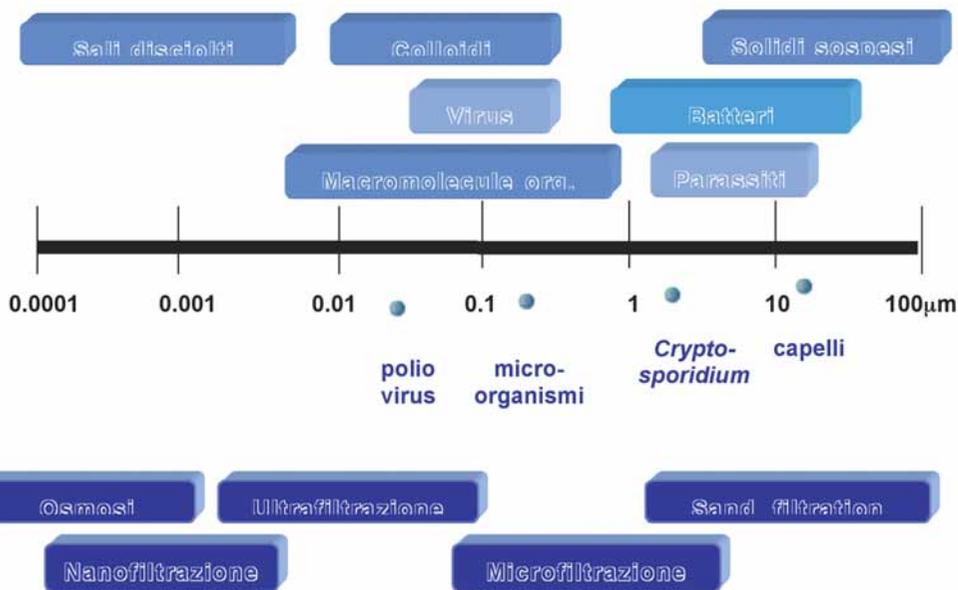
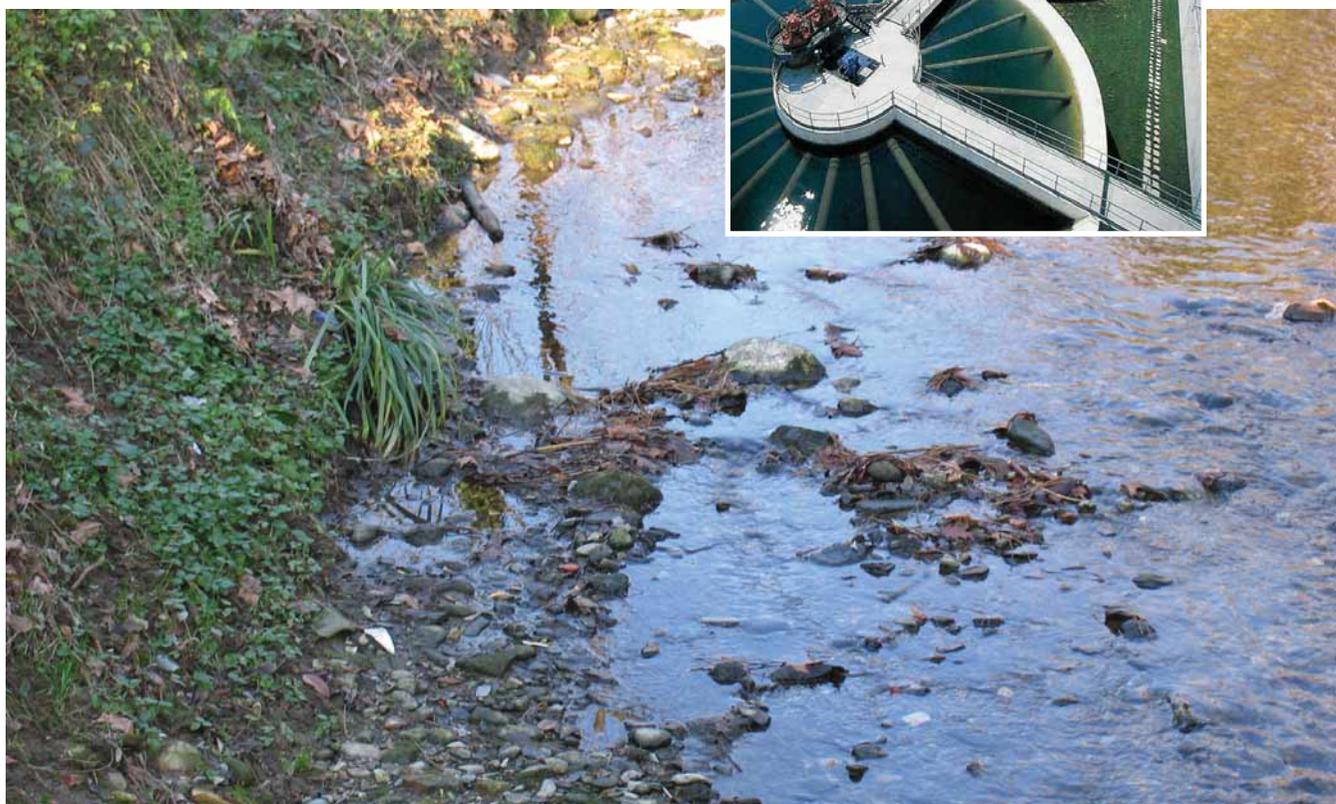
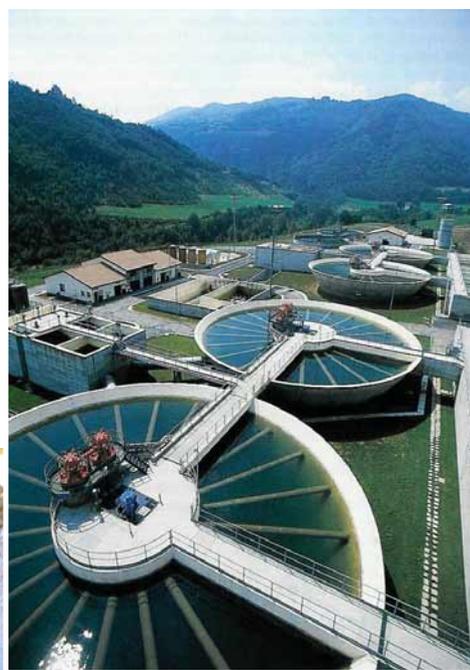


Figura 2 - Efficienza di rimozione per diversi processi di filtrazione.

Vista sedimentatori con microsabbia impianto di potabilizzazione di Capaccio, Emilia Romagna.

binazione con perossido d'idrogeno o le radiazioni ultraviolette. Le tecnologie a membrana stanno assumendo grande importanza per la rimozione delle sostanze inorganiche, organiche, microrganismi ecc. fino all'addolcimento e di dissalazione, con i processi a osmosi inversa, di micro, ultra e nanofiltrazione e di elettrodialisi. I processi di separazione con membrane dipendono dalle dimensioni dei pori attraverso i quali i diversi materiali particolati, in

soluzione o colloidali, sono costretti a passare. Il grafico della Figura 2 mostra la capacità di separazione dei diversi processi di separazione. La combinazione di processi di pretrattamento di ossidazione, coagulazione ecc. con membrane di ultrafiltrazione consente di ottenere ottimi risultati di rimozione di diversi composti. L'utilizzo di membrane di ultrafiltrazione si sta dimostrando particolarmente efficace nella rimozione di spore (*Giardia Intestinalis* e





	PH	CT(mM)	Alk(meq)
Acqua iniziale	5,64	1,224	0,166
+ 1,088 mmole/l Na_2CO_3	8,30	2,282	2,282
+ 1,058 mmole/l NaOH	8,30	2,224	1,224
- 1,058 mmole/l CO_2	8,30	0,166	0,166

Tabella 2 - Composizione finale dell'acqua dopo neutralizzazione.

Cryptosporidium Parvum) e carica batterica consentendo di ridurre il dosaggio di composti ossidanti e cloro per la copertura in rete. A titolo di esempio, si riportano nella Tabella 1, i valori ottenibili a valle di schemi di trattamento con membrane di ultrafiltrazione. Una fase essenziale della produzione di acqua destinata al consumo umano è la disinfezione. In questo caso è necessario conoscere la interazione tra fattori chimici e microbiologia che coinvolgono il processo di disinfezione, quali la formazione di sottoprodotti, la ricrescita batterica, la formazione di bio fouling allo scopo anche di scegliere, progettare e ottimizzare gli impianti. Nel caso di trattamento di acqua di lago si riporta il caso dell'impianto di potabilizzazione di Desenzano sul Lago di Garda, Figura 3, con la seguente tecnologia di processo:

- preozonazione;
- flocculazione;
- filtrazione multistadio;
- disinfezione con biossido di cloro.

La caratteristica più importante dell'impianto è la filtrazione in pressione che assicura la completa rimozione meccanica dei



documento

prodotti di ossidazione con ozono, in particolare le microalghe che, insieme alle specie animali, vanno a costituire il plancton. L'impianto ha una capacità di 14.000 m³ al giorno, interamente automatico.

Treatmento dell'acqua sotterranea

I problemi delle acque sotterranee riguardano la rimozione di ferro, manganese, ammonio, arsenico, nitrati, pesticidi, composti organici volatili (Cov) e microinquinanti non volatili. Le tecnologie proposte sono le più diverse: dalla rimozione del ferro e del manganese mediante ossidazione e filtrazione alla denitrificazione biologica per la rimozione dei nitrati con processi autotrofi ed eterotrofi o di elettrodialisi; dall'adsorbimento di microinquinanti su carbone attivo alla riduzione del contenuto salino con processi a membrana (osmosi inversa, elettrodialisi); dall'addolcimento e

decarbonatazione sia con precipitazione sia con resine a scambio ionico ai processi avanzati di ossidazione per rimuovere le impurezze organiche.

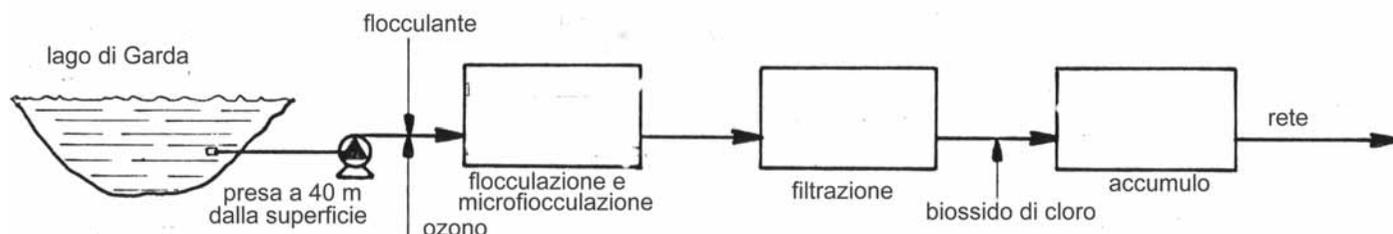
Un esempio è dato dall'impianto di Mantova, avente una portata di 32.000 m³ al giorno, per la rimozione di metano, solfuro d'idrogeno, ammoniaca, ferro, manganese e sostanze organiche (acidi umici e fulvici), lo schema di processo prevede le seguenti fasi:

- pompaggio dai pozzi;
- ossidazione con ossigeno puro necessario alla rimozione di idrogeno solforato, ione ferroso e preossigenazione per la successiva fase di rimozione biologica del metano e dell'ammoniaca;
- preozonazione per innalzare il potenziale redox, fino a +350 mV, a monte dei 6 biofiltri automatici con capacità pari a 120 m³ all'ora ognuno, disegnati per garantire le condizioni ideali per la biofiltrazione;



- biofiltrazione in ambiente nitrificante per la rimozione di metano e ammoniaca;
- ozonazione per la rimozione di cariche batteriche e composti organici a valle della biofiltrazione, con innalzamento del potenziale redox oltre 700 mV per rompere i legami metallorganici e consentire così l'ossidazione di ferro e

Figura 3 - Schema di trattamento acqua di lago.



documento

manganese complessati;

- filtrazione su 4 filtri a carboni attivi, ognuno con portata pari a 180 m³ all'ora, per la rimozione di odori e sapori sgradevoli e rimuovere tracce di ozono e ammonio residui;
- biossido di cloro per garantire la cloro copertura in rete.

Rimozione dei nitrati

In questi ultimi anni la concentrazione dei nitrati nelle acque sotterranee e superficiali ha raggiunto valori superiori a 50 mg/l (limite di legge), in particolare nelle aree con agricoltura intensiva, come nel caso di tutta la costa romagnola con orticoltura, da Ravenna ad Ancona si rende necessario un trattamento adeguato dell'acqua le cui soluzioni tecnologiche, descritte peraltro da noi in altra sede, si riducono essenzialmente a processi di:

- elettrodialisi e osmosi inversa;
- denitrificazione biologica autotrofa ed eterotrofa;
- scambio ionico.

La scelta del tipo di processo dipende da molti fattori, con alcuni vantaggi e svantaggi.

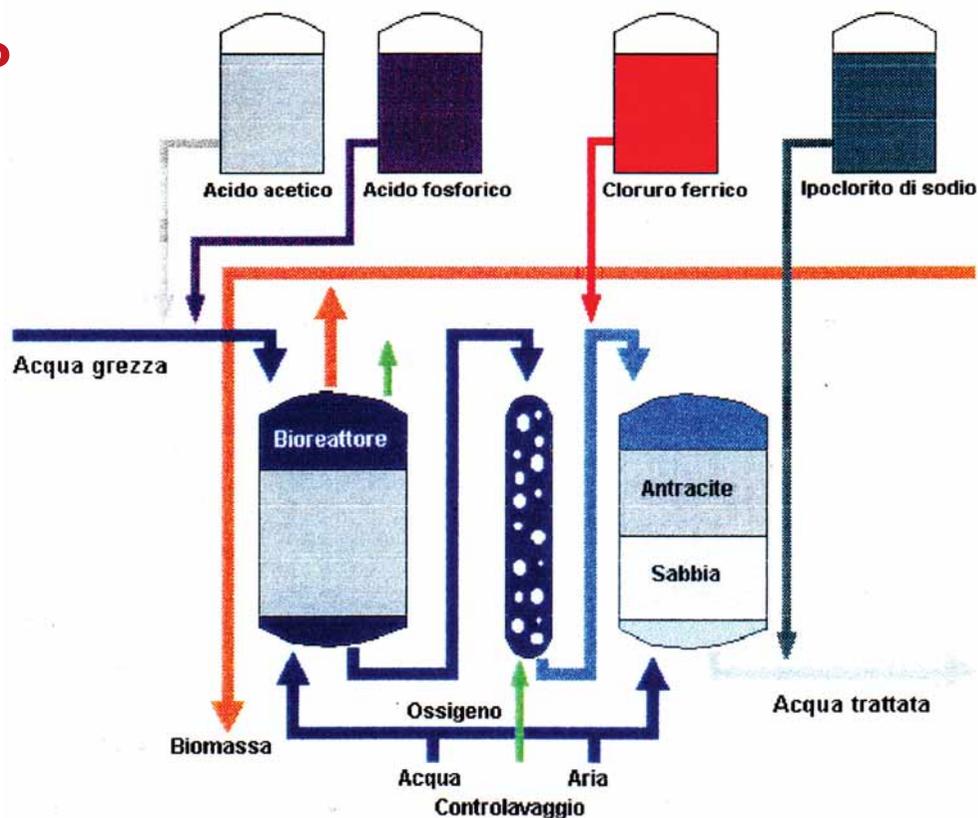


Figura 4 - Impianto di rimozione biologica dei nitrati del Consorzio Acquedotti Perugia (Water Engineering).

L'utilizzo dei processi a membrana ha il vantaggio di ridurre, qualora richiesta, anche la salinità e la durezza dell'acqua, di richiedere uno spazio modesto ed è utile per coprire i picchi di richiesta stagionale di acqua. Vi sono diverse esperienze di utilizzo di impianti con membra-

ne, per esempio nella provincia di Milano, gestiti da Cap impianti, sono in funzione circa 20 impianti che funzionano in automatico con controllo a distanza. Le caratteristiche delle acque di falda consentono, con la sola miscelazione tra permeato e acqua grezza, di ottenere un'acqua potabile di buone qualità e non aggressiva. Con questo processo occorre tuttavia conoscere bene l'equilibrio dell'acido carbonico per non avere fenomeni di aggressività e corrosione, dopo la miscelazione, come è avvenuto nel caso della rimozione dei nitrati, presenti in concentrazione di 50-60 mg/l, nell'acqua che alimenta l'acquedotto di Parma.

In uscita dall'impianto di osmosi inversa, il pH è 5,64 e il sistema di miscelazione non è risultato sufficiente a neutralizzare l'acidità del permeato, in quanto l'acqua possiede un basso valore di alcalinità (0,1 meq/l). Le proposte per ridurre l'aggressività dell'acqua prodotta sono state le seguenti:

- la neutralizzazione con NaOH o Na₂CO₃;
- la rimozione della CO₂ mediante torre di degasazione.

Per ciascun caso le variazioni di composizione e l'aggiunta o rimozione di reagenti sono riassunte nella Tabella 2. Va osservato che dopo la neutralizzazio-



documento

ne, l'acqua rimane comunque aggressiva per la carenza di calcio, che può essere bilanciato miscelando il permeato neutralizzato con acqua grezza. Un esempio di impianto che utilizza un processo biologico eterotrofo per la rimozione dei nitrati (90-100 mg/l NO_3) è quello del Consorzio Acquedotti di Perugia, il cui schema si può osservare nella Figura 4.

Processi innovativi

Le acque superficiali e sotterranee sono talvolta sottoposte a fenomeni di inquinamento da parte di sostanze organiche, quali i pesticidi e gli idrocarburi clorati, molte delle quali sono poco degradabili.

Allo scopo di prevenire il rischio per la salute dell'uomo, la Commissione dell'Unione Europea ha definito, per un buon numero di queste sostanze il valore dalla concentrazione massima ammessa (Mca). I processi di ossidazione avanzata, che utilizzano i radicali OH^* , provenienti dall'ozono e perossido di idrogeno o le radiazioni ultraviolette, sono in grado di rimuovere queste sostanze, portandole a completa mineralizzazione.

Uno schema di processo tipico è quello indicato nella Figura 5, che utilizza $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ seguito da un'adsorbimento su carboni attivi per la rimozione di eventuali residui. Tra i processi innovativi vanno ricordati i sistemi di rimozione dell'arsenico e altri metalli, ad esempio nichel, con materiali assorbenti specifici; il vantaggio principale di tali processi è la capacità di rimozione dei metalli senza modificare sostanzialmente le caratteristiche delle acque trattate. Il materiale assorbente più utilizzato è l'ossido di ferro trivalente in diverse forme.

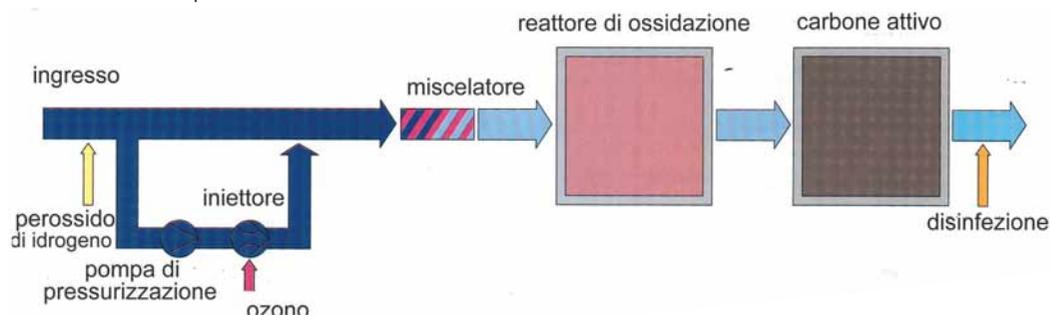
Le caratteristiche di molte acque italiane consentono la rimozione dell'arsenico a livelli soddisfacenti utilizzando normali filtri a sabbia, in pressione o a gravità, condizionando le acque da trattare mediante dosaggio di ferro. L'applicazione di tale schema di processo richiede un'attenta verifica delle caratteristiche delle acque da trattare al fine di verificare l'applicabilità.

Dissalazione acqua di mare

La dissalazione delle acque salmastre e di mare è basata essenzialmente sui processi di distillazione e quelli a osmosi inversa. I primi sono basati sulla compressione termica del vapore, la più economica, per i piccoli impianti e sulla distillazione a effetto multiplo, il più economico rispetto alla efficienza energetica; la compressione termica del vapore, con una pressione tra 5 e 18 bar; infine, le tecnologie multi stage Flash. Nei Paesi degli Emirati Arabi Uniti sono presenti impianti che utilizzano le più diverse soluzioni tecnologiche, distillazione o osmosi in funzione dei volumi di acqua da produrre. In entrambi i casi il permeato o il

distillato prodotti richiedono ulteriori trattamenti per ottenere acqua adatta al consumo umano. Nel settore della dissalazione sono in corso attività di sperimentazione e ricerca che riguardano praticamente tutte le diverse fasi: prelievo dell'acqua da trattare, pretrattamenti, rimozione dei sali, materiali di costruzione, efficienza energetica ecc. rivolti alla riduzione del costo operativo e dell'impatto sull'ambiente.

Figura 5 - Schema di processo avanzato di ossidazione con perossido di idrogeno e ozono (Austrian Energy).



BIBLIOGRAFIA

- Awa Water quality and treatment*. Mc Grow Hill, New York, 1971.
Nalco Water Handbook, II edizione, Mc Grow Hill New York, 1988.
 P. Berbenni, C. Bernini, "Indagini sul chimismo delle acque che alimentano l'acquedotto della città di Parma e interventi per non renderle aggressive", Amps Parma, maggio 1988.
 P. Berbenni, C. Cristoforetti, "Influenza della matrice dell'acqua sulla qualità in rete", atti giornata di studio su: Influenza sui sistemi di distribuzione sulla qualità dell'acqua potabile. Genova, 18 Novembre 2005.

