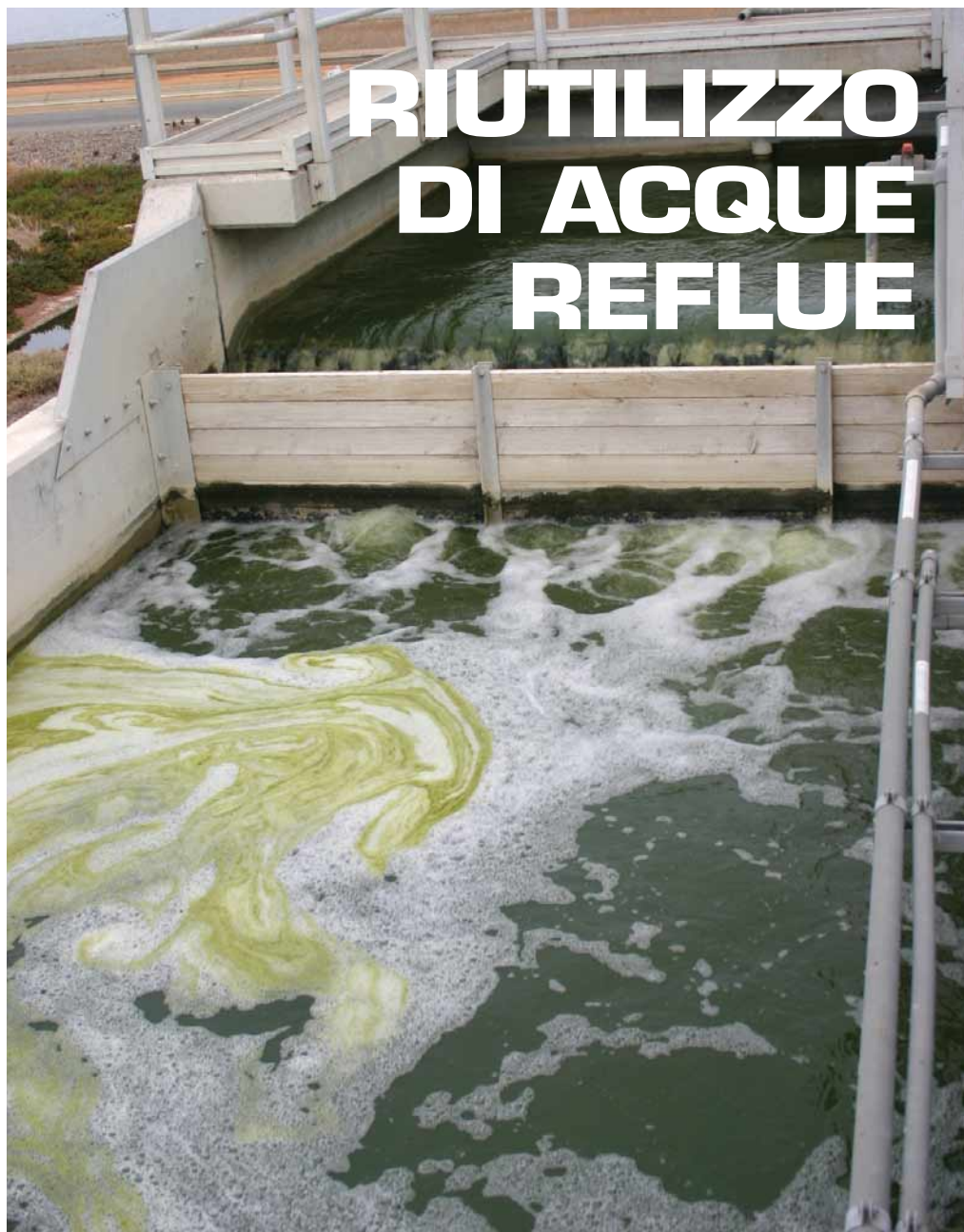


Nel caso di reflui civili gli schemi più diffusi per il riuso integrano quanto previsto dai normali impianti di trattamento con ulteriori sezioni di affinamento dell'acqua depurata. Le filiere di trattamento finalizzate al riutilizzo di acque reflue depurate comprendono, di norma, trattamenti terziari di filtrazione finale, lagunaggi, controllo della carica batterica con ozono, acido peracetico e/o UV, eventualmente integrati da sezioni di trattamento con membrane, o in alternativa bioreattori a membrane (Mbr)

eventualmente seguiti da trattamenti con ultravioletti. In generale gli aspetti da considerare per un'acqua da riutilizzare riguardano la presenza di solidi sospesi; di composti disciolti in concentrazioni non accettabili: Bod, Cod, azoto fosforo, carbonati, bicarbonato; parametri chimici: pH, conducibilità elettrica (E_{cw}), Sar, sodio, cloruri, solfati, boro, elementi in traccia (cromo, zinco, cadmio, rame, piombo ecc.) e sali che possono formare composti insolubili (solfuri e metalli, carbonati e bicarbonati).

Vanno inoltre considerati la presenza o la possibile formazione di alghe e i parametri microbiologici fondamentali: escherichia coli, coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, uova, elminti, spore ecc., composti organici in tracce (tensoattivi, fenoli, solventi clorurati ecc.) facilitate dalla presenza di composti organici bioaccumulabili. Da valutare inoltre la presenza e l'azione di composti che possono comportare rischi di incrostazioni o di corrosione nel sistema di distribuzione. La

Il tema del riutilizzo delle acque reflue è sempre più interessante, anche per la situazione italiana dove in generale la risorsa acqua, di buona qualità, sembra ancora oggi relativamente disponibile.



tecnologie e ambiente

Figura 1 presenta in modo semplificato due schemi di trattamento in grado di produrre acque adatte al riutilizzo con l'inserimento di una sezione di trattamento terziaria confrontata col lo schema tipico dei processi Mbr (membrane Bio reactor).

Perché le membrane

I vantaggi correlati all'utilizzo di sistemi a membrana, come trattamento terziario o di processi Mbr, sono evidenti se si considera che i processi di filtrazione finale con membrane non incrementano la salinità delle acque trattate, anche in caso di dosaggio di sali metallici per la rimozione del fosforo l'aumento di concentrazione è minimo, che l'aumento della concentrazione di composti che possono formare precipitati è, di norma, limitata alla formazione di carbonati e bicarbonato e che la presenza di solidi sospesi è ridotta al minimo. Quando il trattamento finale è effettuato con membrane di osmosi si riduce la salinità delle acque inviate al riutilizzo. Le membrane rappresentano una barriera fisica per la rimozione di batteri, uova e spore senza dosaggio di prodotti chimici, contribuendo a ridurre i rischi connessi con il dosaggio di prodotti chimici. L'utilizzo di membrane prevede dosaggi ridotti di prodotti per il controllo della formazione di alghe nei sistemi di accumulo per l'alimentazione della rete di distribuzione. L'elevata età del fango e l'effetto delle membrane nei sistemi Mbr contribuiscono a ridurre la fuga di microinquinanti e di composti organici potenzialmente bioaccumulabili. I rischi di corrosione o di incrostazioni sono più facilmente correlabili alle caratteristiche della acque in ingresso e controllabili in acque in uscita da un sistema Mbr o da membrane grazie alla ridotta presenza di colloid.

La Tabella 1 riassume i meccanismi tipici di rimozione di diversi composti indesiderati in caso di riutilizzo di acque depurate nel caso di sistemi di trattamento che utilizzano membrane di ultrafiltrazione come trattamento terziario, mentre la Tabella 2

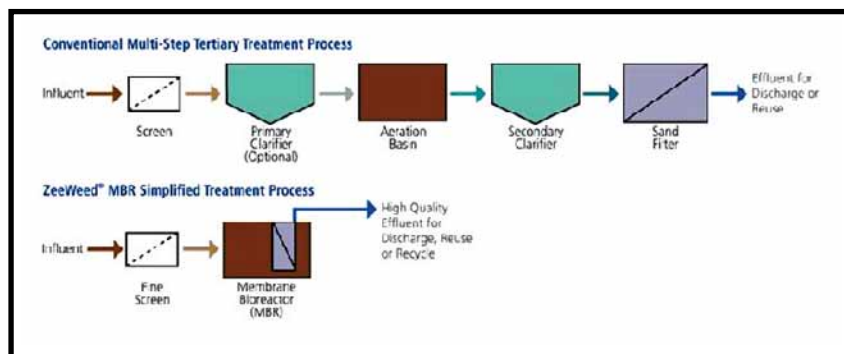


Figura 1
Processo
convenzionale
con terziario
e Mbr
(Membrane
Bioreactor).

componente	meccanismo di rimozione con le membrane di ultrafiltrazione	concentrazione tipica sui reflui trattati con membrane di ultrafiltrazione
giardia criptosporidium	filtrazione diretta	non rilevabile
coliformi	filtrazione diretta	<10 cfu/ml
solidi sospesi	coagulazione-filtrazione	<1
torbidità	coagulazione e filtrazione	<10 Ntu
ferro	ossidazione con aria e filtrazione e filtrazione	< 0,1 mg/l
manganese	ossidazione e filtrazione	>0,1 mg/l
colore	coagulazione-filtrazione	50-95% (con coagulanti specifici)
Toc	coagulazione-filtrazione	45-80% (con coagulanti)
conta particelle	filtrazione diretta	< 10 particelle/ml
H ₂ S	ossidazione con aria	non rilevabile
NH ₃		< 1 mg/l

Tabella 1 - Componenti
indesiderate e meccanismi di
rimozione per trattamenti terziari
con ultrafiltrazione.

riassume le caratteristiche attese per reflui civili depurati in processo Mbr.

Applicazioni

Numerose esperienze confermano gli ottimi risultati ottenuti con schemi di trattamento dei reflui depurati o processi Mbr per il riutilizzo delle acque. In

parametro	unità di misura	valore
Bod ₅	mg/l	<5
NH ₄ -N	mg/l	<1
N tot.	mg/l	<10
torbidità	Ntu	0,5
fosforo totale	mg/l	<1
E.Coli	Cfu/100ml	10
Silt Density index		3-4

Tabella 2 - Caratteristiche
di reflui civili depurati
con un processo Mbr.



Figura 2 - Vista dell'unità di
ultrafiltrazione Smat di Collegno
realizzata in container.

tecnologie e ambiente

Tabella 3 - Permeato in uscita dal trattamento terziario di ultrafiltrazione impianto Smat di Collegno media dei controlli analitici effettuati.

Cod	inferiore a 20 mg/l
Tss	non rilevabili (Torbidità inferiore a 0,5 Ntu)
Escherichia coli	sempre inferiori a 10 Ufc/100 ml e spesso non rilevabili

Tabella 4 - Principali caratteristiche dall'impianto di Viareggio nella configurazione modificata con l'inserimento di una sezione Mbr.

	caratteristiche
staccatura	aperture 1mm
separazione sabbie	tipo Vortex
equalizzazione	volume 450 m ³
reattore atossico	volume 60 m ³
reattore AC	volume 2.200 m ³
sezione di	4 linee, superficie
ultrafiltrazione	di filtrazione 12.130 m ²

Tabella 5 - Concentrazione dei metalli e microinquinanti nell'influenza e nell'effluente, e limiti richiesti per lo scarico sul suolo, allegato 5. tab. 4 DLgs. 152/2006.

Metalli			Microinquinanti						
			in	out	limiti tab. 4				
Ag	mg/l	79	0,4	105	Oli minerali	mg/l	4,0		
					Grassi	mg/l	15,5	0,4	10
As	mg/l	9	7	20	Tensioattivi anionici (Mbas)	µg/l	4.241	275	
B	mg/l	532	410	1.000	Tensioattivi non ionici (Bias)	µg/l	1.426	275	
Ba	mg/l	104	20	10.000	S diclorofenoli ⁽²⁾	µg/l			
			< 0,01	100	Pentaclorofenolo	µg/l	< 0,05	< 0,05	3
Cd	mg/l	1	< 0,01	5	Solventi organici alogenati	µg/l	30,6	3,4	
			1,0	50	Erbicidi azotati	µg/l	0,6	0,4	
Cr	mg/l	18	< 0,01	100	Pesticidi fosforati	µg/l			
Cu	mg/l	53	15	1.000	S solventi organici aromatici	µg/l	21,1	0,6	10
Fe	mg/l	4.046	256	2.000	Benzene	µg/l			
			< 0,01	1	Toluene	µg/l	7,7	0,1	
Mn	mg/l	92	25	200	Xilene	µg/l			
			28	200	Idrocarburi policiclici aromatici	µg/l	3,2	0,5	
Pb	mg/l	50	16	100	Diossine	pgTE/l			
			4	10	Pesticidi organo-clorurati	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,1
Sn	mg/l	3,3	< 0,01	3.000	Tributilstagno	µg/l			
			1	100	Esaclorobenzene	ng/l	29,5	1,3	
Zn	mg/l	274	81	500	Pcb	ng/l			

3 riassume le caratteristiche medie del permeato rilevate durante una campagna di controllo con prelievi settimanali. Il permeato prodotto è normalmente utilizzato per alimentare il sistema dell'acquedotto industriale del Pip di Collegno. Si segnala anche il caso di Viareggio dove, a seguito di una sequenza di sperimentazioni, è stato realizzato il potenziamento dell'impianto esistente dalla capacità di 70.000 AE a 100.000 AE, modificando la sedimentazione primaria in reattore a AC (Alternate Cycles) accoppiato a un sistema a ultrafiltrazione che utilizza membrane ZeeWeed realizzando così un sistema AC - Mbr per produrre acqua con caratteristiche adatte al riutilizzo per le attività florovivaistiche. Le principali caratteristiche dell'impianto sono riassunte nella Tabella 4. Di particolare interesse come esempio di riuso, collegato con il sistema di

Italia si può citare la realizzazione di una linea di ultrafiltrazione con membrane di ultrafiltrazione realizzata a valle della sedimentazione secondaria dell'impianto di depurazione Smat di Collegno in funzione dal 2002 per una portata di 100 m³/h. La Tabella

tecnologie e ambiente

	permeato a valle della sezione di ultrafiltrazione	acque di infiltrazione provenienti dal trattamento ad osmosi (2005)	standard definiti per le acque di infiltrazione	acque prelevate per la potabilizzazione 2005 31% acque di falda naturali 69% acque di infiltrazione da impianto	acque di alda naturali (2001)
pH	7,6-8,4	6,2-7,4	6,5-9,2	7,6-8,0	7,0-8,0
Conducibilità (µS/cm)	1.154	43	1.000	327	697
Cloruri (mg Cl/l)	202	2,7	250	19	87
Solfati (mg SO ₄ /l)	74	<1	250	24,5	91
Sodio (mg Na/l)	148	11	150	19,7	45
Durezza totale (°F)	27,3	<1	40	14	32,7
Nitrati (mg NO ₃ /l)	8,3 (TN)	2,4	15	1,6	<6
Ammoniaca (mg NH ₄ /l)		<0,15	1,5	0,05	<0,4
Fosforo totale (mg P/l)	1,8	<0,1	0,4	>0,1	± 0,1
TOC carbonio organico totale	8,2	<0,2	-	1,7	±5,0
Chloro residuo	Assenti	assenti	-	assente	assenti
Metalli	<DL	<DL		<DL	
	-	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01

Tabella 6 - Qualità delle acque di infiltrazione e prelevate dall'acquifero per produrre acqua potabile.

distribuzione di acque potabili, è il caso dell'impianto di Torreele. A partire dal luglio 2002 è iniziata la produzione di acque di infiltrazione per la ricarica della riserva delle dune di St-André in Belgio, a partire dagli scarichi civili depurati dell'impianto di Wulpen. L'impianto di depurazione prevede le seguenti fasi di trattamento: sedimentazione primaria con dosaggio di ferro per ridurre la concentrazione di fosforo, nitrificazione e decantazione finale. La scelta della sequenza di trattamento realizzata per il centro di Torreele si è basata su prove pilota che hanno portato alla definizione dello schema di processo che prevede: ultrafiltrazione (UF), filtri a cartuccia, osmosi inversa (RO), ultravioletti (UV).

Come funziona

La sequenza di trattamento con ultrafiltrazione e osmosi inversa

è risultata quella più adatta a garantire l'insieme dei parametri di qualità definiti per l'acqua di infiltrazione con concentrazioni di sali e nutrienti contenute al fine di preservare le caratteristiche ecologiche delle dune.

L'osmosi risulta praticamente l'unico processo in grado di realizzare tale risultato in modo semplice, ma richiede un'ottima protezione da possibili inquinanti. Le membrane di ultrafiltrazione, con passaggi da 0,1 µm, permettono di rimuovere praticamente tutti i solidi sospesi e i batteri a monte dell'osmosi. La prima fase di trattamento delle acque reflue depurate prevede una staccatura con passaggi da 1 mm seguita da una clorazione con sodio ipoclorito per evitare crescite indesiderate di batteri nel bacino di stoccaggio da 1.560 m³. La fase di ultrafiltrazione utilizza membrane Zee Weed del tipo a fibra cava supportata con flusso dall'esterno all'interno, prodotte da Zenon. Le membrane installate, organizzate su 5 linee indipendenti, forniscono una superficie di filtrazione pari a 15.600 m², un sistema di soffianti consente l'aerazione per garantire la pul-

izia delle membrane. La portata massima di progetto è pari a 450 m³/h con un fattore di recupero previsto non inferiore al 85%. Il permeato dell'ultrafiltrazione è raccolto in una vasca di accumulo da 160 m³ dove viene dosato ipoclorito e cloruro di ammonio per permettere la formazione di mono cloro ammine per proteggere le membrane di osmosi dal bio-fouling. Filtri di sicurezza da 15 µm forniscono un'ulteriore protezione di sicurezza alla sezione di osmosi inversa realizzata su due linee, ognuna su skid da 36 vessel (32 vessel sono attrezzati con membrane) contenenti 6 moduli 8" BW 30LE-440 Dow. Il fattore di

Figura 3 - Vista del reattore Mbr dell'impianto di Viareggio.



tecnologie e ambiente

recupero di progetto, pari al 75%, varia in accordo alla salinità dell'acqua di alimento. Un dosaggio controllato di soda regola il pH dell'acqua di prima infiltrazione mentre un sistema UV, in grado di fornire una irradiazione pari a 40 mJ/cm, fornisce un'ulteriore protezione in caso di necessità. L'acqua trattata contribuisce alla ricarica di un acquifero non confinato in una zona di dune sabbiose con un tempo di permanenza minimo nell'acquifero di 40 giorni. La capacità di progetto del sistema di Torreele consente di produrre 2.500.000 m³/anno di acqua di infiltrazione pari al 40-45% del fabbisogno di acqua potabile prodotta dall'impianto che preleva dalle stesse dune l'acqua da trattare. Lo schema di trattamento dell'impianto di potabilizzazione prevede la presenza di pozzi di estrazione per una capa-

rità di 400 m³/h, seguiti da un sistema di aerazione rapida con una filtrazione finale su sabbia. La Tabella 6 riassume i dati relativi alle acque di infiltrazione prodotte dall'impianto di Torreele e le confronta con i dati relativi al permeato dell'ultrafiltrazione, all'acqua prelevata dall'acquifero prima e dopo circa due anni dall'avviamento dell'impianto.

Soluzioni

Gli esempi sopra riportati confermano come problemi diversi di riutilizzo di acque provenienti dalla depurazione dei reflui civili, per le peculiari caratteristiche dei sistemi a membrana, possano trovare soluzioni applicative efficienti ed efficaci, per l'irrigazione e anche per applicazioni che prevedano l'alimentazione di falde destinate alla produzione di acque potabili con costi sostenibili. ■

BIBLIOGRAFIA

P. Battistoni, F. Fatone *et al.*, "Full scale application of coupled alternate cycles membrane bioreactor (AC-Mbr) process for waste water reclamation and reuse". *Water Practice & Technology*, ultra Iwa Publishing 2006, **1(4)**, doi 10.2166/Wtp.2006077.

F. Fatone, P. Battistoni *et al.*, "Operation and maintenance of fullscale MBRs for municipal waste water treatment and reuse: a detailed overview on a case study".

E. Van Houtte, J. Verbauwhe, "The Iwwa Torreele water reuse plant. Operational experience 2002-2006", Dec. 14th 2006, Aachen: Ultra and Nano filtration in water treatment; Workshop on "Operational experience and research results".

J. R. Bratby, "Merits of alternative membrane bioreactors system", *WaterReuse association Symposium*, 2003.

S. Bontrager, Mbr step up to meet reclamation challenge, Awwa 2005.

T. Melin *et al.*, "Membrane bioreactor technology for waste water treatment and reuse", *Desalination*, 2005, **187**.