

# Reflui in

## TRATTAMENTI ALTE



# Industriali

## Alternativi Biologici



**In base alle esigenze specifiche di ogni tipo di produzione industriale, vengono messi a punto diversi sistemi di smaltimento per i reflui. Nel caso di scarichi contenenti importanti quantità di Cod e azoto il tipo di trattamento più vantaggioso si orienta verso metodi alternativi biologici aerobici.**

Reflui industriali che presentano elevate concentrazioni di composti organici solubili, definiti complessivamente come Cod, e di azoto nelle diverse forme possono essere trattati convenientemente con processi che hanno come fase principale un sistema biologico aerobico. In questi casi, compatibilmente con la sostenibilità di un processo biologico che talvolta può richiedere fasi di pretrattamento o di finitura specifiche, la realizzazione di un impianto che comprenda predenitrificazione-nitrificazione, eventualmente seguita da una post denitrificazione può risultare la soluzione tecnico economica più adeguata.

### Esigenze e soluzioni

Tra le attività industriali con scarichi aventi le caratteristiche indicate possono essere annoverate le seguenti: produzione di succhi concentrati e imbottigliamento, bibite analcoliche, prodotti da forno e dolci, lavorazioni e preparazione del pesce, macellazione e lavorazione della carne, cantine vinicole, caseifici,

produzioni farmaceutiche, di cosmetici, tessili ecc. A titolo di esempio la Tabella 1 riassume le caratteristiche tipiche di reflui trattabili con processi biologici. Lo schema per il trattamento di reflui con le caratteristiche riportate in Tabella 1 prevede di norma le seguenti fasi: grigliatura, accumulo areato, rilancio, staccatura controllo del pH, sezione biologica seguita da un'eventuale filtrazione finale. Per la sezione biologica, tenendo conto dei limiti imposti dal tema della presente disamina, è possibile scegliere tra diverse soluzioni alternative quali: a) processo a fanghi attivi classico con biomassa dispersa e separazione solido/liquido mediante sedimentazione, b) fanghi attivi con flottazione, c) fanghi attivi con separazione solido liquido mediante membrane, in quest'ultimo caso il processo viene denominato Mbr (Membrane Bio Reactor), d) processo biologico con biomassa adesa su letto mobile Mbbf (Mobile Bed Bio Reactor). Nel caso del processo Mbr, si fa

Parametro	u.m.	minimo	media	massimo
temperatura	°C	12-20	12-20	12-20
pH		6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5
Sst	mg/l	230,0	300,0	400,0
Cod tot	mg/l	1.150,0	1.500,0	1.950,0
Cod sol	mg/l	1.000,0	1.300,0	1.700,0
Bod <sub>5</sub> tot	mg/l	540,0	700,0	900,0
Tkn	mg/l	150,0	200,0	260,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	24,0	30,0	40,0
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	4,0	6,0	8,0
N tot	mg/l	154,0	206,0	268,0
P tot	mg/l	15,0	20,0	26,0
Oli e grassi tot.	mg/l	35,0	50,0	65,0
tens. tot.	mg/l	12,0	15,0	20,0
Cloruri	mg/l	380,0	500,0	650,0

*Tabella 1 - Caratteristiche tipiche scarichi industria alimentare.*

risultati conseguiti dalle fasi di pretrattamento siano gli stessi. Si ricorda tuttavia che nel caso dei sistemi Mbr è di norma necessario prevedere una staccatura fine più efficace ed efficiente di quella richiesta per gli altri processi esaminati. I tre processi alternativi al sistema con fanghi attivi e sedimentatore classico consentono di ridurre i volumi dei reattori e di migliorare l'efficienza e l'affidabilità del processo di depurazione.

processo	fanghi attivi con sedimentatore classico		fanghi attivi con flottazione		fanghi attivi MBR con membrane		biomassa adesa MBBR con flottazione	
	kgBOD/kg SST	0,7-0,12	kgBOD/kg SST	0,7-0,13	kgBOD/kg SST	0,7-0,14	kgCOD/m <sup>3</sup> ad	3,0-6,0
concentrazione biomassa tipica di progetto	kgSST/m <sup>3</sup>	4-5	kgSST/m <sup>3</sup>	6-8	kgSST/m <sup>3</sup>	8-10	m <sup>3</sup> sup. utile/m <sup>3</sup> di vasca	300/500
dosaggio di flocculanti per migliorare la separazione solido-liquido	di norma non richiesto		pellelettrolita		non richiesto		cloruro ferrico, controllo del pH, polimerizzata	
concentrazione di solidi sospesi in ingresso alla sezione di separazione solido-liquido	kgSST/m <sup>3</sup>	4-5	kgSST/m <sup>3</sup>	6-8	kgSST/m <sup>3</sup>	8-10	kgSST/m <sup>3</sup>	<1,0
carico idraulico per la separazione solido-liquido	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> sh	0,7-1	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> sh	1-2	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> sh	0,02-0,04	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> sh	4-10
energia specifica richiesta	kWh/m <sup>3</sup>	0,5-1,0	kWh/m <sup>3</sup>	0,6-1,2	kWh/m <sup>3</sup>	0,6-1,3	kWh/m <sup>3</sup>	0,6-1,2
risultati ottenibili all'uscita della sezione di separazione solido-liquido a valle del reattore biologico:								
resa per Sst	%	90-92	%	90-95	%	95-99	%	90-95
resa per BOD	%	90-95	%	90-96	%	90-99	%	90-96
resa per TN (T)	%	90-90	%	90-97	%	90-97	%	90-97
resa per P (P)	%	90-95	%	90-98	%	90-98	%	90-97

*Tabella 2 - Comparazione tra i principali parametri di processo.*

risultati conseguiti dalle fasi di pretrattamento siano gli stessi. Si ricorda tuttavia che nel caso dei sistemi Mbr è di norma necessario prevedere una staccatura fine più efficace ed efficiente di quella richiesta per gli altri processi esaminati. I tre processi alternativi al sistema con fanghi attivi e sedimentatore classico consentono di ridurre i volumi dei reattori e di migliorare l'efficienza e l'affidabilità del processo di depurazione.

referimento alla soluzione con membrane immerse che risulta più adatta e diffusa per volumi di scarico elevati, tipicamente per volumi superiori ai 100 m<sup>3</sup>/d di reflui. Nel caso del sistema Mbr, si considera l'utilizzo di un flottatore per la separazione dei fanghi in quanto risulta la soluzione più valida dal punto di vista dell'efficienza di processo e per la compattezza che permette di ottenere nella realizzazione. Al fine di confrontare le diverse alternative la Tabella 2 riassume i parametri tipici di progetto per la sezione biologica riferita alle diverse soluzioni elencate, considerando di realizzare una sequenza con denitrificazione-nitrificazione, seguita da post denitrificazione per la soluzione con biomassa adesa e che i

### Caratteristiche dei processi alternativi

Nel processo biologico a biomassa dispersa integrato con la flottazione, l'utilizzo di questo sistema di separazione solido-liquido permette di operare con concentrazioni di biomassa elevate, fino a 7-8 g Sst/l riducendo di conseguenza i volumi dei reattori biologici ed in parte la superficie impegnata per la sezione di separazione solido-liquido. I flottatori, di norma realizzati in acciaio inossidabile, possono essere installati al di sopra dei reattori biologici riducendo ulteriormente l'area necessaria all'impianto e semplificando i collegamenti idraulici. La flottazione consente di separare fanghi di supero, da inviare alle successive fasi di tratta-

mento, con concentrazioni intorno al 3-5% di secco rendendo di fatto inutile l'ispessimento. A fronte dei vantaggi elencati si evidenzia un maggiore consumo di energia per la pressurizzazione della quota di acqua chiarificata da ricircolare per la flottazione. Per i processi con membrane Mbr la presenza delle membrane come mezzo di separazione dei fanghi rende il sistema meno sensibile alle variazioni delle caratteristiche dei fanghi e di portata idraulica. La presenza di filamentosi, che rende difficile operare in condizioni complesse per la presenza di composti tossici o difficilmente degradabili nel caso dei reattori tradizionali, ha di solito poca influenza sull'efficienza di filtrazione di un sistema con membrane. L'incremento dei tempi di permanenza delle sostanze con peso molecolare e dimensioni superiori al passaggio previsto dalle membrane permette una migliore degradazione della frazione organica contribuendo a migliorare l'efficienza del sistema. L'età del fango, che non è soggetto a fughe incontrollate per la presenza delle membrane, può essere effettivamente adattata alle necessità di ottimizzazione del processo biologico. L'ottimizzazione del funzionamento degli impianti con processi Mbr si basa su sequenze di funzionamento che richiedono, al fine di garantire l'efficienza di filtrazione per il comparto membrane, un livello di automazione elevato, che oggi è considerato normale. Il livello di automazione, richiesto per la sezione di filtrazione, esteso a tutta la gestione dell'impianto riduce al minimo la presenza di operatori. Per il controllo della concentrazione di fanghi nel comparto di filtrazione si mantiene un flusso di ricircolo di fanghi che, di norma, varia tra 5 e 6 volte la portata in ingresso. La disponibilità di unità di filtrazione modulari e facilmente trasportabili consente di realizzare impianti nuovi o interventi di miglioria di impianti esistenti in tempi brevi. Le membrane di microfiltrazione (MF) e ultrafiltrazione utilizzate fino ad ora hanno porosità comprese tra 0,05 e 0,4 µm che consentono

Metalli	Microinquinanti	IN	OUT	limiti Tab. 4
		IN	OUT	limiti Tab. 4
Ag	µg/l	79	0,4	
Oli minerali	mg/l	4,0	0,6	0,05
Al	µg/l	2242	105	1.000
Grassi	mg/l	15,5	0,4	10
As	µg/l	9	7	20
Tensioattivi anionici (MBAS)	µg/l	4241	275	
B	µg/l	532	410	1.000
Tensioattivi non ionici (BIAS)	µg/l	1426	275	
Ba	µg/l	104	20	10.000
Σ diclorofenoli <sup>(2)</sup>	µg/l	< 0,05	< 0,05	
Be	µg/l	< 0,01	< 0,01	100
Pentaclorofenolo	µg/l	< 0,05	< 0,05	3
Cd	µg/l	1	< 0,01	5
Solventi organici alogenati	?g/l	30,6	3,4	
Co	µg/l	2,6	1,0	50
Erbicidi azotati	µg/l	0,6	0,4	
Cr	µg/l	18	< 0,01	100
Pesticidi fosforati	µg/l	< 0,01	< 0,01	0, 1
Cu	µg/l	53	15	1.000
Σ solventi organici aromatici	µg/l	21,1	0,6	10
Fe	µg/l	4046	256	2.000
Benzene	µg/l	1,1	< 0,01	1
Hg	µg/l	1,2	< 0,01	1
Toluene	?g/l	7,7	0,1	
Mn	µg/l	92	25	200
Xilene	?g/l	11,5	0,4	
Ni	µg/l	74	28	200
Idrocarburi policiclici aromatici	µg/l	3,2	0,5	
Pb	µg/l	50	16	100
Diossine	pgTE/l	29,6	0,1	
Se	µg/l	4	4	10
Pesticidi organo-clorurati	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,1
Sn	µg/l	3,3	< 0,01	3.000
Tributilstagno	µg/l	< 0,03	< 0,03	
V	µg/l	4	1	100
Esaclorobenzene	ng/l	29,5	1,3	
Zn	µg/l	274	81	500
Pcb	ng/l	5,9	0,01	

Tabella 3 - Confronto tra concentrazione dei metalli e microinquinanti nell'influyente e nell'effluente e limiti richiesti per lo scarico sul suolo, allegato 5. Tabella 4 del DLgs 152/2006



Figura 1 - Materiali di riempimento per processi Mbr.



Figura 1 - Miscela aerata e acque filtrate in un processo Mbr.



di ottenere acque depurate con caratteristiche elevate, compatibilmente con la frazione solubile degli inquinanti e cariche microbiche ridotte. La Figura 1 permette di comparare l'aspetto della miscela aerata e del permeato di un impianto Mbr; lo sfondo è costituito da membrane di ultrafiltrazione a fibra cava. La rimozione dei solidi sospesi conseguibile con gli impianti con membrane permette di separare microinquinanti e composti organici in modo molto efficace, come evidenziato dai dati rilevati nella sperimentazione relativa alla realizzazione dell'impianto di Viareggio i cui risultati sono riassunti nella Tabella 3. Tra i problemi evidenziati nell'utilizzo di processi Mbr, si segnala la difficoltà di disidratazione dei fanghi, la necessità di controllare la temperatura dei reattori, in particolare nel caso di concentrazioni elevate di Cod e/o azoto da nitrificare, la necessità di realizzare fasi di pretrattamento efficienti per rimuovere grassi e sostanze o materiali che possono danneggiare le membrane. Si segnalano in alcuni casi difficoltà di trasferimento dell'ossigeno che sono di norma correlate alle alte temperature dei reattori o concentrazioni dei fanghi superiori a 15 gSst/l. Per i processi a biomassa Mbbbr la maggiore efficienza nella rimozione degli inquinanti sembra correlata alle particolari caratteristiche di specializzazione della biomassa adesa rispetto a quella dispersa dei processi a

fanghi attivi e tali condizioni permettono di ridurre i volumi dei reattori. La possibilità di installare i materiali di riempimento in vasche esistenti con poche modifiche rende relativamente facile incrementare la capacità di impianti che non hanno spazi. È inoltre possibile modulare l'installazione del materiale di riempimento in funzione dei carichi, almeno entro un range relativamente ampio, e ciò permette di realizzare reattori con volumi complessivi che permettono di incrementare i carichi in ingresso, senza modifiche alle opere civili, con il solo limite del massimo volume di materiale di riempimento ammesso. La biomassa adesa è di norma in grado di mantenere efficienze di rimozione degli inquinanti elevate anche in presenza di variazioni del carico significative. L'impiego della flottazione per la separazione solido/liquido, a valle del reattore Mbbbr, permette di realizzare installazioni compatte e la concentrazione di biomassa di supero relativamente contenuta, di solito inferiore a 500 mg/l, consente di utilizzare carichi specifici di progetto elevati, compresi tra 6 e 10 m/h per i flottatori tradizionali e fino a 15-20 m/h per i quelli rapidi dotati di lamelle. La portata di ricircolo richiesta risulta commisurata alla concentrazione del fango da separare. La presenza di una fase di flocculazione e condizionamento dei fanghi con polielettrolita migliora l'efficienza del processo di separazione solido liquido ed è di norma consigliata nel caso di sistemi Mbbbr. La Figura 2 mostra diversi tipi di materiali di riempimento con elevata superficie specifica. Le considerazioni sopra riassunte evidenziano come sia possibile realizzare schemi di depurazione simili utilizzando per la fase biologica processi con caratteristiche diverse che li rendono più o meno adatti a risolvere il singolo problema in funzione delle condizioni di contorno, della disponibilità di spazio, della qualità dell'effluente finale richiesta.

## BIBLIOGRAFIA

- C. Lubello, R. Gori, *Water Sci. Technol.*, 2004, 1, 77.  
 R. Canziani, V. Emondi et al., *Journal of Membrane Science*, 2006, 286(1-2), 202.  
 A. Rozzi, F. Malpei, "Risultati e prospettive di applicazione di reattori Mbr in campo agro industriale" Proceedings of application and perspectives of Mbr in Waste Water Treatment and Reuse" 28-20 aprile 2003 Cremona.  
 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*, vol. 1, N°4 ultra IWA Publishing 2006 doi 10.2166/WTP2006077.  
 John R. Bratby "Merits of alternative membrane bioreactors system" *WaterReuse association Symposium* 2003.  
 T. Melin et al., "Membrane bioreactor technology for waste water treatment and reuse" *Desalination*, 187, 2005.  
 Il trattamento dei reflui industriali, raccolta delle relazioni presentate al II Corso di aggiornamento organizzato Firenze dal 7 al 9 marzo dall'Andis a cura di C. Lubello, Mc Graw Hill 2007.