
DEPURAZIONE



TIPIZZAZIONE DEI MICRORGANISMI FILAMENTOSI NEI SISTEMI DI TRATTAMENTO SBR (SEQUENCING BATCH REACTOR)

Sergio Facchini¹, Pier Giacomo Sarra²

Introduzione

Il raggiungimento di elevati livelli qualitativi degli effluenti nel trattamento dei reflui di industrie alimentari mediante trattamento biologico a fanghi attivi dipende in larga misura dalle caratteristiche di sedimentabilità e di ispessibilità dei fanghi stessi.

In presenza di fenomeni di rigonfiamento (bulking) vi può essere trascinamento di solidi sospesi con l'effluente e difficoltà a mantenere la giusta concentrazione di biomassa con diminuzione dell'età del fango e di conseguenza possibile disinnescamento della nitrificazione; inoltre in tutta la linea fanghi non si riescono ad ottenere i normali valori di sostanza secca.

La forma più comune di bulking deriva dallo sviluppo eccessivo di microrganismi filamentosi. Secondo una delle teorie più accreditate⁽³⁾ si possono distinguere due livelli di struttura nel fiocco, denominati microstruttura e macrostruttura.

La microstruttura è stabilizzata dalla produzione di

polimeri extracellulari da parte dei microrganismi flocc-forming e dai processi di aggregazione e bioflocculazione, con formazione di fiocchi di piccole dimensioni (50-75 μm). La macrostruttura invece è stabilizzata soprattutto dai batteri filamentosi che formano il supporto fisico per la crescita dei flocc-forming.

Anomalie nello sviluppo della microstruttura o della macrostruttura portano a problemi nelle caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi.

In particolari situazioni, ad esempio nel caso di eccessiva velocità di crescita della biomassa, si ha scarsa produzione di polimeri extracellulari, cioè una alterazione della microstruttura con una abbondante crescita dispersa da cui deriva un effluente torbido con alti livelli di COD e solidi sospesi.

Se, invece, la produzione di biopolimeri è eccessiva, come nel caso della carenza di nutrienti, si ha una microstruttura eccessivamente sviluppata con formazione di fiocchi viscosi caratterizzati da un alto grado di ritenzione idrica ed una bassa densità (*viscous bulking*).

Un basso livello di batteri filamentosi può causare

¹ collaboratore esterno

² Università Cattolica, Centro Ricerche Biotecnologiche, Cremona.

un difetto della macrostruttura noto come *pin-point*, con basso S.V.I. (Sludge Volume Index) ma con una frazione dei fiocchi di piccole dimensioni: dopo la sedimentazione il surnatante appare quindi torbido.

Al contrario, uno sviluppo eccessivo di microrganismi filamentosi porta ad un alto S.V.I. (*bulking filamentoso*) per le difficoltà di compattazione causate dalle interazioni meccaniche tra i fiocchi. L'esame microscopico può indicare la presenza di una struttura diffusa del fiocco, causata da microrganismi filamentosi che crescono al suo interno, oppure la formazione di ponti se i filamentosi crescono oltre la superficie del fiocco stesso; infine vi può essere una struttura mista.

Da ricerche effettuate negli U.S.A.⁽³⁾ è stato possibile trovare una correlazione, anche se non sempre specifica, tra i microrganismi filamentosi dominanti in caso di bulking e le condizioni operative dell'impianto o la natura chimica del refluo da trattare (tab. 1).

Per i batteri del gruppo *low DO*, che sono favoriti in presenza di basse concentrazioni di ossigeno disciolto, è possibile intervenire aumentando le potenzialità dell'aerazione del sistema di trattamento mentre lo sviluppo di funghi per basso pH può essere limitato intervenendo con dosaggi di alcali.

Se il bulking deriva da presenza di solfuri nello scarico oppure da carenze nutrizionali si può correggere il refluo rispettivamente con pre-trattamenti chimici oppure dosando i nutrienti con continuità per evitare carenze anche temporanee.

Più complesso è invece il caso dei batteri nel gruppo *low F/M*, che si sviluppano a basso carico del fango e per i quali sono stati messi a punto i sistemi con selettore, cioè strutture atte a permettere una crescita selettiva dei batteri *floc-forming* creando condizioni sfavorevoli per l'affermazione dei filamentosi.

Con il selettore aerobico si realizzano alte concen-

trazioni di substrato in una prima fase del trattamento, analogamente a quanto avviene nei sistemi *plug-flow* o SBR (Sequencing Batch Reactor), sfruttando le maggiori velocità di crescita dei *floc-forming* in queste condizioni rispetto ai filamentosi, così come indicato dalla teoria della selezione cinetica⁽⁸⁾.

I microrganismi *floc-forming* presentano inoltre un meccanismo di accumulo e stoccaggio del substrato solubile biodegradabile più efficace di quello mostrato dai filamentosi⁽⁷⁾. Tuttavia in alcuni casi la pressione selettiva relativamente alla selezione cinetica è bassa e risulta più efficace un selettore anossico oppure anaerobico, basato su criteri di selezione metabolica o mista^(4, 5, 6, 7, 8).

In questo caso si sfruttano le differenze metaboliche tra i *floc-forming* ed i filamentosi, in particolare per il metabolismo anossico (denitrificazione) ed anaerobico (ciclo dei polifosfati/PHB dei Poly-P bacteria), anche se per alcuni microrganismi filamentosi, quali *Microthrix parvicella* e type 0092, si ritiene possa esserci una utilizzazione del substrato anche in condizioni diverse da quelle puramente aerobiche.

In effetti i sistemi con la rimozione dei nutrienti inibiscono lo sviluppo di *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix* sp. e type 021N, ma stimolano lo sviluppo di alcuni microrganismi filamentosi appartenenti al gruppo *low F/M*, come types 0041, 0675, 0092 e *Microthrix parvicella*⁽⁹⁾. A quanto sembra è l'alternanza di aerobiosi ed anossia a stimolarli, invece di inibirli, e la percentuale di fase aerobica rappresenta un importante parametro di valutazione⁽⁹⁾.

Un'altra spiegazione dello sviluppo di *low F/M* filamentosi in impianti con rimozione nutrienti o con selettore anossico/anaerobico riguarda la lenta idrolisi del particolato in condizioni anossiche ed anaerobiche con successiva idrolisi in aerobiosi e sviluppo dei microrganismi filamentosi che vivono all'interno dei

Tab. 1 - Cause del bulking e microrganismi filamentosi correlati⁽³⁾.

Causa del bulking	Microrganismi filamentosi indicativamente presenti
LOW DO	type 1701, <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>H. hydrossis</i>
LOW F/M	<i>M. parvicella</i> , <i>H. hydrossis</i> , <i>Nocardia</i> sp., types 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803.
SOLFURI	<i>Thiothrix</i> sp., <i>Beggiatoa</i> sp., type 021N.
CARENZA NUTRIENTI	<i>Thiothrix</i> sp., <i>S. natans</i> , type 021N, possibile <i>H. hydrossis</i> , types 0041 e 0675.
LOW pH	Funghi

flocchi (type 0092, *Microthrix parvicella*, ecc.)^(7, 9).

Sembra inoltre che l'ossido di azoto, che si forma in fase aerobica dalle tracce di azoto nitroso presenti al termine della fase anossica, possa indurre una inibizione selettiva dei floc-forming rispetto ai low F/M filamentosi per differenze metaboliche esistenti tra i due gruppi di microrganismi⁽⁹⁾.

Sono stati effettuati diversi studi statistici, soprattutto all'estero, per determinare la frequenza dei diversi microrganismi filamentosi implicati nel fenomeno del bulking^(3, 10, 11, 12).

Si è quindi ritenuto utile riportare i dati relativi alla tipizzazione dei batteri filamentosi eseguita su 23 sistemi di trattamento a fanghi attivi SBR per il trattamento in scala reale dei reflui di industrie alimentari e di liquami suinicoli.

Materiali e metodi

La caratterizzazione dei microrganismi filamentosi è stata effettuata secondo lo schema proposto da Jenkins⁽³⁾, utilizzando la microscopia a contrasto di fase per i preparati a fresco ed S-test e la microscopia in campo chiaro per le colorazioni di Neisser, Gram e PHB.

Le classi di frequenza, da 0 a 6, sono state stimate in accordo con le indicazioni di Jenkins⁽³⁾. Le misurazioni del DSVI (Diluted Sludge Volume Index) sono state preferite allo SVI per una migliore comparabilità dei risultati.

I campioni sono stati prelevati da 23 impianti SBR ad aerazione prolungata e provvisti in diversi casi di fasi anossiche per la denitrificazione.

I prelievi sono stati effettuati mensilmente per un periodo di circa un anno: i risultati sono riassunti nella tab. 2, assieme al valore del DSVI medio, del carico sul fango e all'indicazione della presenza-assenza di fasi anossiche.

Per gli impianti in cui sono state registrate nel tempo variazioni nella composizione microbiologica è stata effettuata una suddivisione in periodi.

Risultati e discussione

Dall'esame della tab. 2 si può evidenziare come i valori di DSVI siano mediamente contenuti e gli episodi di bulking non molto frequenti.

Prima di una discussione generale sui tipi di microrganismi filamentosi evidenziati si ritiene utile una

migliore valutazione dei casi in cui si siano verificati episodi di bulking durante il periodo studiato.

Nel caso dell'impianto n. 14, trattante reflui derivanti da lavorazione di sottoprodotti di macellazione con sistema SBR utilizzante fasi aerobiche ed anossiche, non si è mai evidenziato bulking filamentoso ma bensì viscous bulking, per effetto di carenze nutrizionali in fosforo e ferro (periodo A).

La correzione di tali carenze ha portato alla lenta scomparsa delle *Zoogloea* sp. in eccesso ed al raggiungimento di valori normali di DSVI (periodo B).

Il sistema di trattamento n. 5, relativo ad acque di macellazione con sistema SBR aerobico-anossico, ha avuto una proliferazione di type 0581 per cause sconosciute (periodo A).

La clorazione ha permesso la sua eliminazione, ma successivamente è stato sostituito da type 0803 (periodo B), poi scomparso spontaneamente con sviluppo successivo di types 0041 e 0675, questa volta con valori mediamente accettabili di DSVI (periodo C).

L'impianto n. 22, trattante reflui di lavorazioni casearie con sistema SBR aerobico, ha evidenziato in fase di avviamento un bulking da type 021N (periodo A) con presenza di molti filamentosi liberi nel mixed liquor e nell'effluente, fatto questo piuttosto insolito per questo microrganismo.

La clorazione con 5-10 g C₁₂/(Kg MLSS·d) per 18 giorni ed il successivo inoculo con fanghi ben strutturati provenienti da un altro impianto che trattava reflui molto simili ha permesso di risolvere il problema (periodo B).

L'impianto n. 21, trattante reflui di lavorazione casearia con sistema SBR aerobico, ha mostrato una sequenza di eventi piuttosto complessa.

Il periodo A si caratterizzava per un effluente molto torbido da crescita dispersa che tuttavia non avveniva in vasca di aerazione—dove si avevano alti valori di età del fango e normale concentrazione in ossigeno disciolto—ma nel bacino di equalizzazione.

Dato l'elevato tempo di ritenzione in equalizzazione ed il sufficiente apporto di ossigeno, il comportamento in tale vasca era simile a quello che si realizza in un impianto ad alto carico, con formazione di flocchi viscosi e crescita dispersa costituita quasi esclusivamente da batteri Gram negativi dall'aspetto coccoide (diplococchi).

L'interruzione drastica della pre-aerazione in va-

Tab. 2- Risultati della tipizzazione dei microrganismi filamentosi nei fanghi esaminati.

Nei casi in cui le caratteristiche dei fanghi non si sono mantenute costanti nel corso dell'indagine l'indicazione "per." indica un particolare periodo (descritto nel testo).

Fango N°	T.R.	ZG	STR	C.FR.	MFD	DSVI	Cf	FA	FOAM
1	MS	--	N	1-3	0092	116	0,12	SI	ASS
2	MS+S	--	N	1-3	0581	121	0,03	SI	ASS
3	MS+S	--	N	1-2	0041/0675	87	0,1	SI	ASS
4	MS+S	--	N	1-2	0092	118	0,05	SI	ASS
5 per.A	MB	--	FA	3-4	0581	222	0,07	SI	ASS
5 per.B	MB	-	FA	3-4	0803	220	0,07	SI	ASS
5 per.C	MB	--	N	1-2	0041/0675	119	0,07	SI	ASS
6	MB	--	N	2-3	0675	95	0,04	SI	ASS
7	MB	--	N	1-3	0092	169	0,12	SI	ASS
8	MB	--	N	2	0041	72	0,03	SI	ASS
9	S	-	N	1-2	0675	74	0,08	SI	ASS
10	S	-	N/FA	2-4	0092	97	0,05	SI	NOC
11	S	--	N	1-3	0092	99	0,05	SI	ASS
12	S	--	N	1	0675/0041	45	0,04	SI	ASS
13	LP	--	N/FA	2-4	0675	120	0,01	SI	ASS
14 per.A	LS	++	N/FA	1-4	0092	250	0,11	SI	ASS
14 per.B	LS	--	N/FA	1-4	0092	90	0,05	SI	ASS
15	AS	--	N	0-1	0041	61	0,05	SI	ASS
16	C	--	N	1-3	0041/0675	122	0,05	NO	NOC
17	C	--	N	1-2	0675/0041	83	0,05	NO	NOC
18	C	--	N	1-2	0675	42	0,05	NO	ASS
19	C	--	N	1-2	0041	54	0,05	NO	ASS
20	C	--	N	2-4	0041/0675	81	0,07	NO	NOC
21 per.A	C	++	N	1	0041	148	0,07	NO	ASS
21 per.B	C	--	P	4	0411	180	0,07	NO	0411
21 per.C	C	--	P	4	0041	176	0,07	NO	ASS
21 per.D	C	--	N	1	0041	73	0,07	NO	ASS
22 per.A	C	--	P	5	021N	235	0,07	NO	ASS
22 per.B	C	--	N	1-2	0041/0675	86	0,07	NO	NOC
23	LF	+	N/P	1-3	SN/HH/F	215	0,1	NO	ASS

T.R. (Tipo di refluo trattato): MS= mattatoio suini, MB= mattatoio bovini, S= salumificio, LP= lavorazione pelli, LS= lavorazione sottoprodotti mattatoio, AS= allevamento suinicolo, C= caseificio, LF= industria lavorazione frutta.

ZG (Zooglee): -- assenti; - scarse; + abbondanti; ++ eccessive.

STR (Effetto dei filamentosi sulla struttura del fiocco): N = nessuno o scarso; P= formazione di ponti; FA= fiocco aperto o diffuso.

C.FR. (Classe di frequenza batteri filamentosi): 0 = assenti; 1 = pochi; 2 = alcuni; 3 = comuni; 4 = molto comuni; 5 = abbondanti; 6 = eccessivi.

MFD (Microrganismi filamentosi dominanti): sono indicati i microrganismi filamentosi dominanti sia in situazione di bulking sia quando rappresentano la normale componente microbiologica dei fanghi attivi in condizioni di normale DSVI; i numeri indicano i tipi morfologici^(1, 3); SN= *Sphaerotilus natans*; HH= *Haliscomenobacter hvdrossis*; F= funghi.

DSVI (Diluted Sludge Volume Index) (ml/g).

Cf (Carico sul fango medio) (Kg COD/ Kg MLSS·d).

FA (Presenza/Assenza di fasi anossiche nel processo depurativo).

FOAM (Natura delle schiume biologiche): ASS= assenza di schiume biologiche significative; NOC= presenza di schiume biologiche dovute ad organismi nocardiaformi; 0411 = presenza di schiume biologiche dovute a type 0411.

sca di equalizzazione portava alla quasi immediata scomparsa dei batteri dispersi (periodo B) ma di conseguenza in aerazione si instaurava una bassa concentrazione di ossigeno disciolto ed un forte apporto di carbonio organico solubile biodegradabile con lo sviluppo di bulking da type 0411 e la forte crescita di protozoi flagellati. Questo microrganismo filamentoso tendeva a crescere anche nel mixed-liquor e lo si ritrovava abbondante nell'effluente con anche presenza di protozoi flagellati, che causavano alti valori dei solidi sospesi e COD finali.

In questo periodo si aveva anche una intensa produzione di schiume biologiche di cui era in gran parte responsabile type 0411.

È stato quindi necessario ripristinare parzialmente la pre-ossigenazione riducendo i tempi di ritenzione in equalizzazione a circa 12 ore per evitare la formazione di fiocchi viscosi in tale bacino pur consentendo una buona rimozione del COD solubile prontamente biodegradabile che altrimenti avrebbe potuto causare lo sviluppo dei microrganismi filamentosi in aerazione.

Per portare rapidamente il fango alle condizioni normali di sedimentabilità è stata utilizzata la clorazione con $1,5 \text{ g Cl}_2/(\text{Kg MLSS}\cdot\text{d})$ per 4 giorni e questo ha eliminato completamente type 0411, ma il ceppo veniva sostituito con type 0041 che produceva bulking (periodo C).

La clorazione veniva ripresa con $1,5 \text{ g Cl}_2/(\text{Kg MLSS}\cdot\text{d})$ ma per questo microrganismo, più resistente del precedente, è stato necessario salire a $6 \text{ g Cl}_2/(\text{Kg MLSS}\cdot\text{d})$.

Il livello dei filamentosi passava dalla classe 4 alla classe 2 e lo DSVI si riduceva, ma la clorazione aveva anche provocato la scomparsa dei protozoi ciliati ed un aumento nell'effluente dell'azoto ammoniacale derivante da lisi cellulare, con successiva formazione di azoto nitroso e poi nitrico per innesco della nitrificazione biologica.

Nel periodo D si è raggiunta una buona stabilità della struttura, con filamentosi in classe 1 costituiti da type 0041 e DSVI medio pari a 73 ml/g.

Le schiume biologiche sono in gran parte scomparse, con qualche formazione temporanea associata a scarichi occasionali di alte concentrazioni di tensioattivi e grassi.

Nel caso dell'impianto n. 23, trattante reflui di lavorazione frutta con sistema SBR aerobico, si è

avuto un episodio di bulking di tipo misto, con fango viscoso e presenza di microrganismi filamentosi, in particolare *Sphaerotilus natans*, *Haliscomenobacter hydrossis* e miceti. Questi microrganismi filamentosi erano già molto abbondanti all'uscita della vasca di equalizzazione, in cui si aveva una bassa concentrazione di ossigeno disciolto e abbondante sostanza organica solubile biodegradabile, condizioni che favoriscono *S. natans* e *H. hydrossis*, oltre a basso pH che stimola la crescita dei miceti.

La struttura viscosa del fango è stata migliorata con il dosaggio dei nutrienti (azoto, fosforo, ferro) di cui il refluo era carente.

Come si è potuto evidenziare dagli esempi precedenti i casi di bulking per i sistemi di trattamento considerati sono stati causati da types 0581, 0803, 0411, 0041, 021N, *Sphaerotilus natans*, *Haliscomenobacter hydrossis* e miceti.

Questi microrganismi sono in genere comparsi in situazioni particolari, spesso durante la fase di avviamento e per brevi periodi di tempo, e non hanno rappresentato il normale popolamento di questi fanghi.

I microrganismi filamentosi dominanti che, pur non creando in genere bulking (classi 1-3 di frequenza), colonizzano in condizioni di relativa stabilità i fanghi che si sviluppano nei sistemi studiati, sono principalmente types 0041, 0675 e 0092, con maggior frequenza dell'ultimo nei trattamenti con fasi aerobiche ed anossiche e di types 0041 e 0675 nei sistemi SBR solo aerobici. Quindi type 0092, pur non avendo mai causato veri problemi di bulking, è presente come microrganismo filamentoso dominante in molti sistemi SBR ad aerazione prolungata con rimozione dei nutrienti.

Nella tab. 3 sono riportati, in ordine di frequenza decrescente, i microrganismi filamentosi rinvenuti come dominanti o codominanti considerando sia gli impianti con rimozione dei nutrienti che quelli solo aerobici, riportando per comparazione la classifica dei microrganismi più frequenti evidenziata nel corso di altre ricerche.

Le maggiori similarità si evidenziano comparando i dati con quelli riportati da studi effettuati in Australia e Sud Africa ed in particolare per quest'ultimo i tre microrganismi più rappresentati sono gli stessi da noi rilevati (types 0092, 0041, 0675); questa analogia potrebbe essere dovuta alla grande diffusione in Sud

Tab. 3 - Microrganismi filamentosi dominanti nei fanghi attivi; classifica in ordine di frequenza decrescente. RIS= risultati della presente indagine; U.S.A.⁽³⁾; Olanda⁽³⁾; Germania O.⁽³⁾; S. Africa^(3, 9); Australia⁽¹⁰⁾.

Microrganismi filamentosi	Classifica in ordine di prevalenza					
	RIS	U.S.A.	Olanda	Germania	S. Africa	Australia
type 0041	1	4		3	2	2
type 0675	2				3	2
type 0092	3		4		1	3
type 0581	4					
<i>Nocardia</i> sp.		1			4	
type 1701		2	5			
type 021N	5	3	2	1		
<i>M. parvicella</i>			1	2	5	1
<i>H. hydrossis</i>			3	5		4
<i>S. natans</i>				4		
<i>Thiothrix</i> sp.		5				

Africa di sistemi di trattamento che prevedono la rimozione dei nutrienti.

È inoltre interessante notare come, con le tipologie di reflui e con i sistemi di trattamento qui esaminati, non sia mai risultata una dominanza di *Microthrix parvicella*, specie che causa in genere seri problemi di bulking e foaming negli impianti che trattano reflui civili o industriali.

Per quanto riguarda le schiume biologiche, infine, è stata spesso evidenziata la presenza di NALO (*Nocardia amarae*-like organisms) ed in un caso la presenza mista di NALO e *Nocardia pinensis*, chiaramente distinguibile mediante l'analisi microscopica dagli altri organismi nocardiaformi per la diversa morfologia delle ramificazioni⁽¹¹⁾.

Questo microrganismo era stato fino ad ora segnalato solo nelle schiume degli impianti a basso carico in Australia, ma probabilmente è molto più diffuso, anche se ha un limite nella sua bassa velocità di crescita e richiede quindi alte età del fango (17-30 dd)⁽¹¹⁾.

BIBLIOGRAFIA

1. EIKELBOOM D.H., VAN BUIJSEN H.J.J. - 1981. Microscopic Sludge Investigation Manual. *TNO Research Institute for Environmental Hygiene*, The Netherlands.
2. EIKELBOOM D.H. - 1990. The role of competition between floc-forming and filamentous bacteria in bulking of activated sludge. In: *Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and Perspectives- International Symposium*, Perugia, 15-17 October 1990.

3. JENKINS D., RICHARD M.G., DAIGGER G.T. - 1986. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. Water Research Commission, Pretoria U.S. *Environmental Protection Agency* (U.S.A.).

4. WANNER J., CHUDOBA J., KUCMAN K., PROSKE L. - 1987. Control of Activated Sludge Filamentous Bulking - VII. Effect of anoxic conditions. *Wat. Res.*, **21** (12): 1447-1451.

5. WANNER J., KUCMAN K., OTTOVÁ V., GRAU P. - 1987. Effect of Anaerobic Conditions on Activated Sludge Filamentous Bulking in Laboratory Systems. *Wat. Res.*, **12**: 1541-1546.

6. WANNER J., GRAU P. - 1989. Identification of Filamentous Microorganisms from Activated Sludge: a Compromise between Wishes, Needs and Possibilities. *Wat. Res.*, **23** (7): 883-891.

7. WANNER J. - 1992. Kinetics and metabolic selection in controlling the filamentous organisms in activated sludge systems. In: two-day workshop on prevention and control of bulking activated sludge. Perugia, 22-23 Giugno 1992.

8. CHUDOBA J., CECH J.S., FARKAC J., GRAU P. - 1985. Control of activated sludge filamentous bulking - Experimental verification of a kinetic selection theory. *Wat. Res.* **19** (2): 191-196.

9. CASEY T.G., EKAMA G.A., WENTZEL M.C., MARAIS G.V.R. - 1992. Causes and control of filamentous bulking in nutrient removal activated sludge system. In: two-day workshop on prevention and control of bulking activated sludge. Perugia, 22-23 Giugno 1992.

10. SEVIOUR E.M., WILLIAMS C., DE GREY B., SODDELL J.A., SEVIOUR R.J., LINDREA K.C. - 1994. Studies on filamentous bacteria from Australian activated sludge plants. *Wat. Res.* **28** (11): 2335-2342.

11. SODDELL J.A., SEVIOUR R.J. - 1994. Incidence and morphological variability of *Nocardia pinensis* in Australian activated sludge plants. *Wat. Res.*, **28** (11): 2343-2351.

12. CASARINI P., FORLINI M.T., GARAVANI M. - 1994. Un contributo allo studio dei batteri filamentosi dei nostri impianti di depurazione a fanghi attivi. *Biologia Ambientale*, **VIII** (2): 32-34.