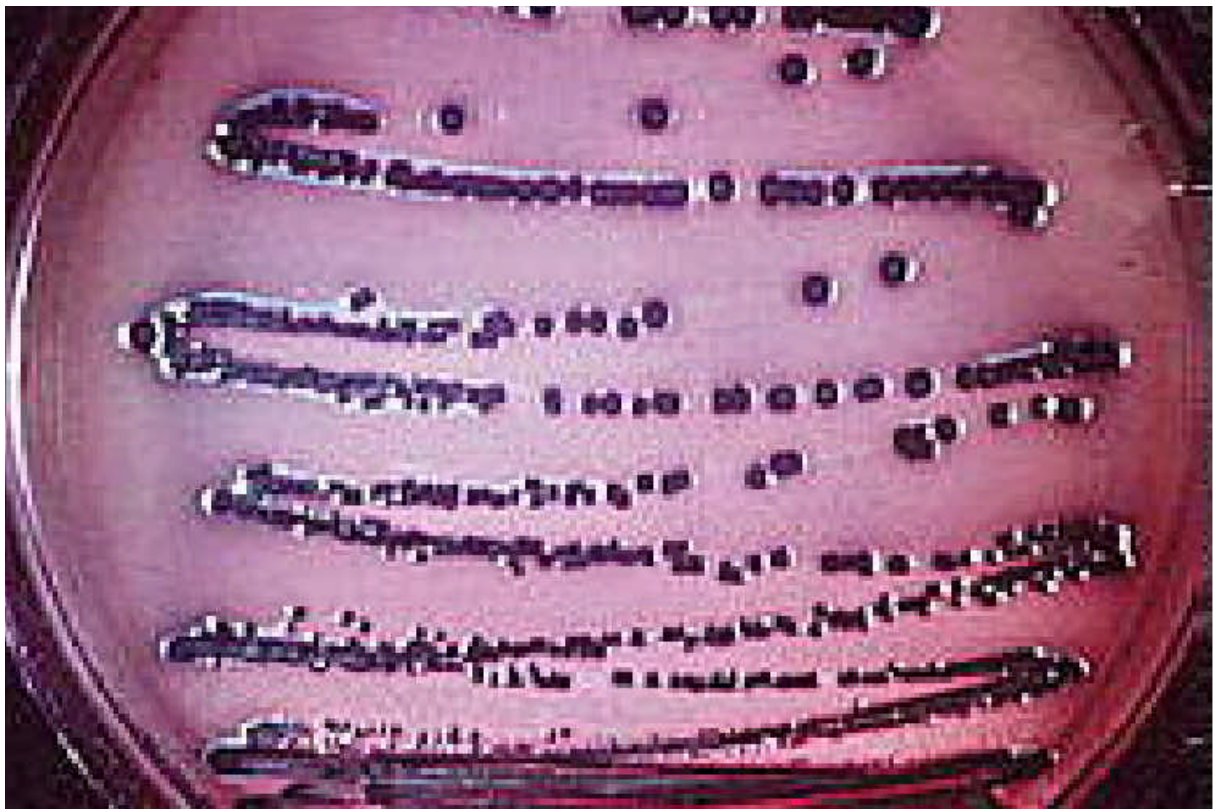


## SISTEMI "CONVENZIONALI" E SISTEMI "NATURALI" DI DISINFEZIONE DELLE ACQUE REFLUE



Paola Verlicchi  
[pverlicchi@ing.unife.it](mailto:pverlicchi@ing.unife.it)  
Luigi Masotti  
[lmassotti@ing.unife.it](mailto:lmassotti@ing.unife.it)

*Dipartimento di Ingegneria  
Università degli Studi di Ferrara  
Via G. Saragat 1, 44100 Ferrara*

*SISTA  
Servizio Igiene Sicurezza e Tutela Ambientale  
Via Fossato di Mortara 17/19, 44100 Ferrara*

# SISTEMI "CONVENZIONALI" E SISTEMI "NATURALI" DI DISINFEZIONE DELLE ACQUE REFLUE

*Paola Verlicchi<sup>°\*</sup>, Luigi Masotti<sup>°\*</sup>*

<sup>°</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, Via G. Saragat 1, 44100 Ferrara

\* SISTA, Servizio Igiene Sicurezza e Tutela Ambientale, Via Fossato di Mortara 17/19, 44100 Ferrara

## SOMMARIO

Lo studio sviluppa il tema della disinfezione delle acque reflue, ponendo a confronto i trattamenti fisico-chimici "convenzionali" di disinfezione dell'effluente di un trattamento secondario di depurazione (clorazione, acido peracetico, ozonazione, irraggiamento UV) con i trattamenti "naturali" (filtrazione lenta su sabbia, infiltrazione-percolazione, lagunaggio ed accumulo, fitodepurazione). Vengono analizzate le modalità di rimozione, la capacità dei vari sistemi in relazione agli *standard* di qualità per lo smaltimento ed il riuso delle acque reflue, ed i vantaggi dei sistemi di disinfezione "naturale" dal punto di vista economico ed ambientale.

## INTRODUZIONE

Il processo di disinfezione delle acque reflue è un trattamento che mira a ridurre la concentrazione di batteri, virus e parassiti ad un livello che assicuri un'adeguata sicurezza igienica.

La necessità di produrre acque reflue igienicamente sicure si presenta in varie situazioni: (i) se l'effluente contiene elevate quote di reflui provenienti da ospedali e cliniche; (ii) nel caso di scarico a mare, allorché il punto di scarico è vicino alla costa o comunque la lunghezza della tubazione di scarico a mare non è adeguata per garantire gli *standard* di qualità per la balneazione o l'allevamento di mitili; (iii) nel caso di riuso dell'acqua reflua depurata, sia diretto (l'effluente è riusato direttamente) che indiretto (l'effluente è scaricato in un fiume usato per scopi potabili, agricoli od industriali). Dato che una tendenza generale a livello mondiale è quella di incrementare il riuso delle acque reflue depurate, l'ultimo caso assume particolare interesse.

Le varie possibilità di riuso delle acque reflue sono: irrigazione a scopo agricolo, irrigazione ad uso paesaggistico, riciclo e riuso delle acque a scopo industriale, ricarica delle falde sotterranee, usi ricreativi/ambientali, riuso urbano non potabile e potabile.

Le acque reflue depurate sono usate per scopi agricoli soprattutto in California, Israele, Cipro, Spagna e Italia; per la ricarica delle falde in California, Israele, Spagna ed Italia; per l'irrigazione ad uso paesaggistico in Portogallo, Spagna, Francia e Germania e per il riuso indiretto potabile in Gran Bretagna (CIRSEE, 2000).

In tutti questi casi, si richiedono sistemi di disinfezione efficienti, con basso impatto ambientale e ridotta utilizzazione di risorse. Avendo ciò presente, i sistemi di disinfezione "naturale" appaiono validi ed efficienti, come emerge dall'analisi e dal confronto con i sistemi di disinfezione "convenzionali" nei successivi paragrafi.

## STANDARD MICROBIOLOGICI PER LA SICUREZZA IGIENICA

La qualità microbiologica delle acque reflue depurate, sia nel caso in cui siano semplicemente smaltite, sia nel caso in cui siano riutilizzate, è fissata da *standard* di qualità nazionali ed internazionali.

Per quanto concerne lo smaltimento, in Italia fino al 1999, la Legge 319/76 (la "Legge Merli") fissava le seguenti concentrazioni massime per gli indicatori di inquinamento fecale negli effluenti degli impianti di depurazione: Coliformi Totali (CT) 20 000 MPN/100 ml; Coliformi Fecali (CF) 12 000 MPN/100 ml e Streptococchi Fecali (SF) 2 000/100 ml e stabiliva che "*il limite si applica quando, a discrezione dell'Autorità competente per il controllo, lo richiedono gli usi concomitanti del corpo idrico ricettore*". La legislazione italiana attualmente in vigore, il D. Lgs 152/99, prende in esame la questione della disinfezione delle acque. Nella tab. 1 viene posto a confronto quanto previsto nella versione originale del D. Lgs 152/99 e nella sua versione modificata (D. Lgs. 258/00). Quale unico indicatore d'inquinamento fecale viene assunta l'*Escherichia Coli* (figg. 1 e 2).

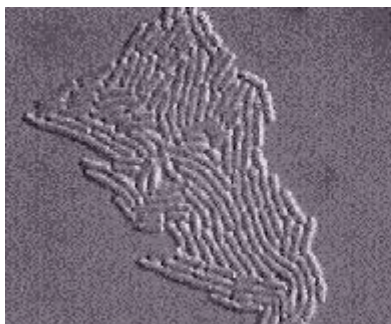


Fig. 1. Celle di E. Coli



Fig. 2. Colonie di E. Coli su coltura Agar

A parere degli scriventi, in base alle nuove norme in vigore, su ogni impianto di depurazione di potenzialità superiore a 2 000 abitanti (e ad esclusione degli impianti che adottano tecnologie depurative di tipo naturale) è indispensabile la presenza di un trattamento di disinfezione per affrontare ogni condizione di emergenza, tuttavia l'attivazione in continuo di un sistema di disinfezione non appare obbligatoria, se l'autorità competente lo giudica non necessario, date le caratteristiche del corpo idrico ricettore.

Per quanto riguarda il riuso delle acque reflue depurate, i differenti riusi sono soggetti a specifici criteri di qualità fissati da differenti norme tecniche. Le tabb.2-5 riportano una rassegna dei principali *standard* internazionali di qualità per il riuso agricolo delle acque reflue depurate, a seconda del tipo di irrigazione, ed il trattamento raccomandato per garantire il rispetto di questi limiti.

Il primo caposaldo nelle regole per il riuso delle acque reflue è stato il "*Title 22*" della Legislazione Californiana, noto anche come "*The California Wastewater Reclamation Criteria Document*" (Asano, 1998), sviluppato nel 1977, che ha fissato dei limiti molto ristretti per i Coliformi Totali (tab. 2). Il secondo caposaldo, le Raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità del 1989 (WHO, 1989), fissa dei limiti meno severi per i nematodi intestinali e per i coliformi fecali in relazione ai differenti tipi di impianti (tab.3).

D. Lgs. 152/99	D. Lgs. 258/00
<p><u>Riferimento: Allegato 5 - Limiti di emissione degli scarichi idrici - Parte 3 - Indicazioni generali</u>  <i>Tutti gli impianti dovranno avere obbligatoriamente un trattamento di disinfezione, sia per far fronte alle eventuali emergenze relative a situazioni di rischio sanitario sia per garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientali ovvero gli usi esistenti per il corpo idrico ricettore.</i></p> <p><i>In sede di approvazione del progetto (...) l'Autorità competente fisserà il limite opportuno relativo al parametro "Escherichia coli" espresso come UFC/100 ml.</i></p>	<p><u>Riferimento: Allegato 5 - Limiti di emissione degli scarichi idrici - Parte 3 - Indicazioni generali</u>  <i>Tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, con potenzialità superiore a 2.000 abitanti equivalenti, ad esclusione degli impianti di trattamento che applicano tecnologie depurative di tipo naturale quali la fitodepurazione ed il lagunaggio, dovranno avere obbligatoriamente un trattamento di disinfezione. Tale trattamento dovrà, nei limiti del possibile, evitare l'utilizzo e modalità di utilizzo di prodotti chimici, quali ad es. l'ipoclorito o il cloro gassoso, tali da comportare problemi ambientali e/o problemi sanitari causati dalla formazione di sostanze tossiche...</i></p> <p><i>In sede di autorizzazione allo scarico, l'autorità competente:</i>  ...  <i>b) fisserà il limite opportuno relativo al parametro "Escherichia coli" espresso come UFC/100 ml. Si consiglia un limite non superiore a 5 000 UFC/100 ml.</i></p>
<p><u>Tabella 3. Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura</u>  Per il parametro N° 50 "Escherichia Coli" viene fissata l'unità di misura UFC/100 ml e nella nota N° 6 si precisa:  <i>All'atto dell'approvazione dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5 000 UFC/100 ml.</i></p>	<p><u>Tabella 3. Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura</u>  Per il parametro N° 50 "Escherichia Coli" viene fissata l'unità di misura UFC/100 ml e nella nota N°4 si precisa:  <i>In sede di autorizzazione allo scarico dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5 000 UFC/100 ml.</i></p>

Tab. 1. Indicazioni relative alla disinfezione secondo i D. Lgs. 152/99 e 258/00

Riuso	Coliformi Totali (CT)	Trattamento Raccomandato
Tutti	< 2.2/100 ml	Coagulazione, filtrazione su sabbia e disinfezione

Tab. 2. Standard di qualità microbiologica della California per l'uso delle acque reflue in agricoltura e trattamenti raccomandati.

Le acque reflue depurate devono raggiungere degli adeguati livelli di qualità per garantire particolari caratteristiche nel corpo idrico ricettore, per esempio i limiti della tab. 4 proposti per l'uso ricreazionale (WHO/UNEP, 1977) o quelli di tab. 5 per l'allevamento di mitili (WHO/UNEP, 1987).

Riuso	Nematodi Intestinali <sup>(1), (2), (3)</sup>	CF <sup>(2)(4)</sup>	Trattamento Raccomandato
Irrigazione di colture con prodotti da consumare crudi, campi di gioco, parchi pubblici	< 1	< 1000 <sup>(5)</sup>	Stagni di stabilizzazione o trattamento equivalente
Irrigazione di cereali, colture industriali, foraggio, alberi da frutta	< 1	Non applicabile <sup>(6)</sup>	Accumulo in stagni di stabilizzazione per 8-10 giorni o trattamento equivalente nella rimozione di elminti e coliformi fecali

<sup>(1)</sup> Ascaris, trichuris nematodi e cestodi

<sup>(2)</sup> Durante il periodo di irrigazione

<sup>(3)</sup> Media aritmetica del n° di uova/litro

<sup>(4)</sup> Media geometrica del n°/100ml

<sup>(5)</sup> Il limite di 200 C/F100 ml è raccomandato che non sia superato per luoghi pubblici, come prati in prossimità di alberghi, direttamente in contatto con la gente.

<sup>(6)</sup> L'irrigazione di alberi da frutto dovrà cessare prima che il frutto sia raccolto e nessun frutto dovrà essere raccolto da terra. Non bisogna usare sistemi di irrigazione a pioggia.

Tab. 3. Limiti di qualità microbiologica e trattamenti dell'Organizzazione Mondiale della Sanità per l'uso delle acque reflue in agricoltura.

	CF MPN/100 ml	SF MPN/100 ml
Uso ricreazionale	100 <sup>(1)</sup> ; 1000 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(1)</sup> ; 1000 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> concentrazioni che non debbono essere superate per il 50% del tempo

<sup>(2)</sup> concentrazioni che non debbono essere superate per il 90% del tempo

Tab. 4. Proposta di *standard* di qualità per usi ricreazionali per il bacino del Mediterraneo

	CF MPN/100 ml	
Acque per la crescita dei mitili	< 10/100ml < 100/100 ml	Nell'80% dei campioni Nel rimanente 20% dei campioni

Tab. 5. Proposte di *standard* di qualità per la coltura dei mitili

Per quanto riguarda l'Italia, si sta discutendo la “bozza” del decreto che regolerà il riuso ai fini *agricoli, civili* (irrigazione di aree destinate al verde, ad attività ricreative e/o sportive, per il lavaggio delle strade dei centri urbani, per l'alimentazione dei sistemi di riscaldamento e/o di raffreddamento, per l'alimentazione di reti duali di adduzione), *industriali* (come acqua di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali purché non vi sia contatto con gli operatori o con alimenti) ed *ambientali* (per la ricarica di falde che non vengono utilizzate per il consumo umano) delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali *recuperate*. Ai fini del recupero, queste dovranno essere necessariamente sottoposte “*ad un trattamento di finissaggio a valle del trattamento secondario che dovrà comprendere un'unità di disinfezione preceduta da una unità di rimozione dei solidi sospesi residui dal trattamento secondario o altri sistemi che si dimostrino equivalenti per il raggiungimento degli standard di qualità ...*”. I limiti per il riutilizzo sono quelli fissati dalla tab. 4 dell'All. 5 del D. Lgs. 152/99 mentre per l'Escherichia Coli è raccomandata l'adozione di un valore limite non

superiore a 200 UFC/100 ml. Se poi il riutilizzo comporta l'irrigazione di colture destinate al consumo umano, o l'irrigazione di aree verdi aperte al pubblico od infine l'alimentazione di reti duali di adduzione, i limiti microbiologici sono più restrittivi: il limite per l'Escherichia Coli si riduce a 10 UFC/100 ml e le Salmonelle devono essere assenti.

#### DISINFEZIONE CON SISTEMI "CONVENZIONALI" SPECIFICAMENTE "DEDICATI"

La rimozione dei microrganismi con gli usuali trattamenti primari e secondari delle acque reflue (senza intervenire con trattamenti "dedicati") è piuttosto bassa, come è riportato nella tab. 6 (Crook, 1990).

Organismi	Acqua grezza	Tratt. primario	Tratt. Secondario	
	MPN/100 ml	Rimozione %	Fanghi attivi Rimozione %	Filtri percolatori Rimozione %
Coliformi Fecali	$10^4-10^9$	< 10	0-99	85-99
Streptococchi Fecali	$10^4-10^6$			
Shigella	1-1 000	15	80-90	85-99
Salmonella	400-8 000	0-15	70-99	85-99
Elminti	1-800	50-98	Limitata	60-75
Virus enterici	100-50 000	Limitata	75-99	0-85
<i>Giardia lamblia</i>	$50-10^4$			
<i>Entamoeba histolytica</i>	0-10	0-50	Limitata	Limitata

Tab. 6. Abbattimento percentuale atteso con i trattamenti convenzionali

I principali meccanismi di rimozione dei microrganismi in processi secondari convenzionali sono sostanzialmente la predazione o l'adsorbimento su particelle sedimentabili, successivamente rimosse tramite sedimentazione (Kim et al, 1996).

Questi trattamenti possono essere sufficienti se l'effluente è scaricato in un corpo idrico ricettore per il quale non sono previsti particolari usi (come ad es. l'irrigazione o la produzione di acqua potabile), o quando sia scaricato a mare tramite lunghe tubazioni, nel qual caso un trattamento di disinfezione "dedicato" è necessario comunque per casi di emergenza, come prescrive la vigente legislazione italiana.

Nel caso di riuso indiretto, questi trattamenti possono essere accettabili per l'irrigazione di colture da non consumare crude, come pure per l'irrigazione ad uso paesaggistico, laddove l'accesso per il pubblico è limitato o escluso, cioè per applicazioni nelle quali il rischio di esposizione per il pubblico all'acqua ricuperata, è molto basso. Per tutti gli altri casi, i limiti di qualità microbiologica imposti possono essere raggiunti con trattamenti "dedicati" di disinfezione finale: trattamenti chimici con cloro gas e derivati, biossido di cloro, acido peracetico, ozono, o trattamenti fisico, specificatamente irradiazione con UV.

La fig. 3 illustra le varie alternative percorribili per la disinfezione delle acque reflue con metodi artificiali "dedicati" (uso di reagenti chimici, sistemi fisici come nel caso degli U.V.), con impatto ambientale via via decrescente.

La tab. 7 riporta, per un effluente secondario, le dosi e il tempo di contatto di agenti disinfettanti fisici e chimici con le corrispondenti riduzioni in unità logaritmiche per l'Escherichia Coli, gli Streptococchi Fecali e gli Enterovirus, come riportato da Stanfield (1996) e Lazarova et al. (1998).

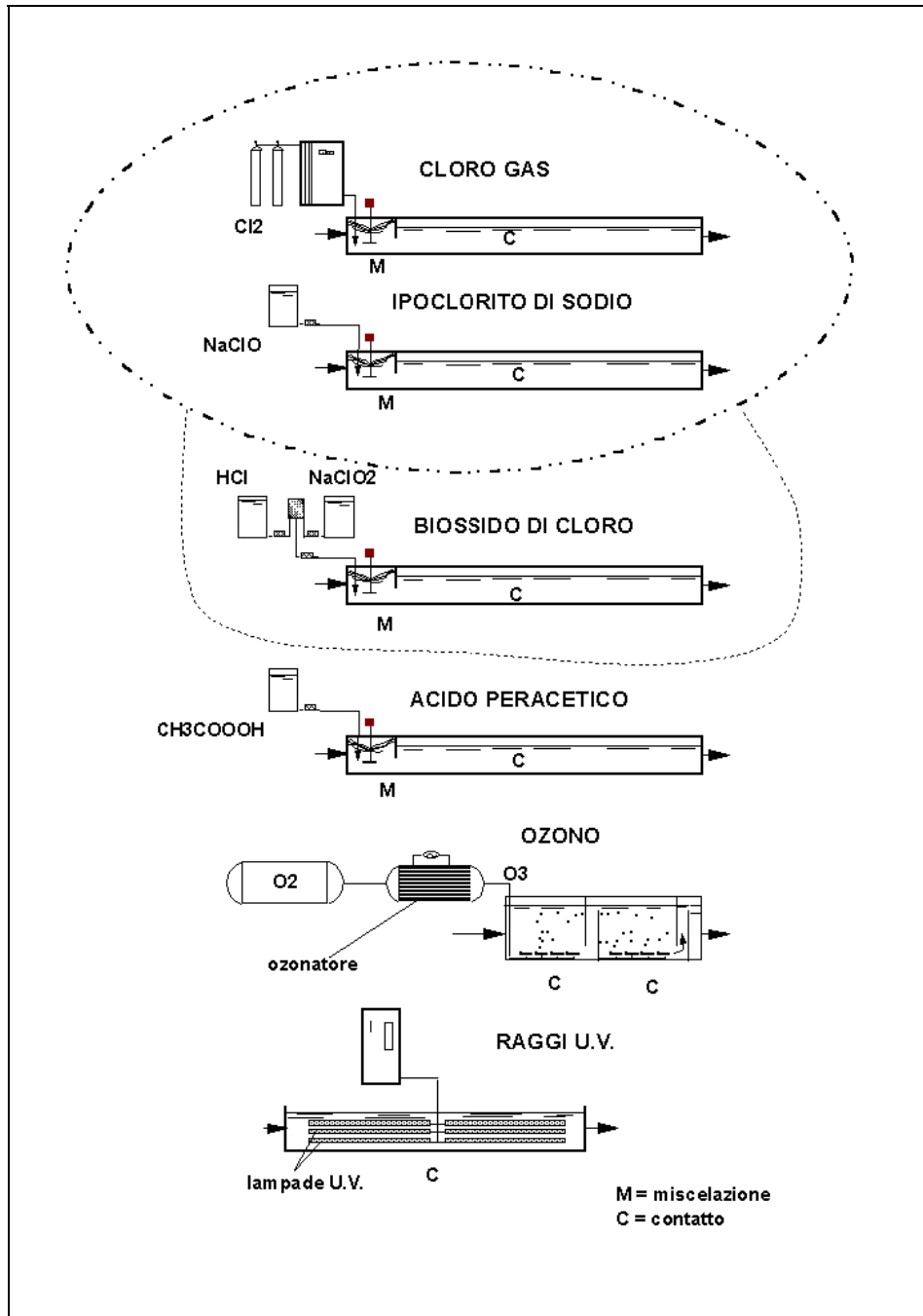


Fig. 3. Alternative nella disinfezione con sistemi di tipo artificiale "dedicati"

Un inconveniente inevitabile della maggioranza di questi processi è dato dagli effetti collaterali della stessa disinfezione. E' notorio - come è anche chiaramente evidenziato dagli *Standard ATV* tedeschi (Guide ATV, 1993), che la clorazione di acque contenenti sostanze organiche porta alla formazione di trialometani (THM) e di altri sottoprodotti

(TOX), alcuni potenziali cancerogeni e mutageni: Galapate et al. (1997) hanno trovato che non solo acque reflue industriali, ma anche acqua di rifiuto domestiche contengono grosse quantità di sostanze organiche che sono precursori dei trialometani.

Agente	Rif.	Dose/tempo di contatto	E. Coli	Streptococchi fecali	Enterovirus
Cloro	A	10 mg/l; 30 min	4-5	>3	0.5-1.6
	A	20 mg/l 30 min	> 5	*	0.7-3
	A	30 mg/l; 30 min	*	*	1.6-4.1
Biossido di cloro	A	5 mg /l; 30 min	2-3	-	4
		10 mg/l; 30 min	5		4
Acido peracetico	A	10 mg /l; 30 min	1.7-3.4	1-2.5	*
	A	20 mg /l; 30 min	3-4.3	2-4	0.1-0.4
	B	10 mg/l; 10 min		3	
Ozono	A	15 mg/l; 30 min	3	> 2	2.8-3
		5 mg /l; 10 min		3	
Raggi UV	A	25-35 mW s cm <sup>-2</sup>	3-4	*	> 3
	B	35 mW s cm <sup>-2</sup>		3	

Tab. 7. Rimozione di microrganismi con sistemi "dedicati" di disinfezione  
A = (Stanfield, 1996); B = (Lazarova et al., 1998)

Con l'uso del biossido di cloro, c'è il pericolo che i prodotti di reazione indesiderati quali clorito e clorato si ritrovino nell'effluente finale.

C'è poi da evidenziare che l'uso del cloro e dei suoi derivati senza uno stadio di dechlorazione finale, può portare a gravi danni alla biocenosi di fiumi e laghi. Come è riportato dalla citata Guida ATV (1993), l'autodepurazione e la presenza di agenti antagonisti dei microrganismi patogeni può essere danneggiata dal cloro e dai composti del cloro. Concentrazioni di cloro comprese fra 0.05 e 0.1 mg/l hanno già un'influenza negativa sulla crescita e la vita dei pesci.

Un'alternativa all'utilizzazione del cloro e dei suoi derivati è rappresentata dall'uso dell'acido peracetico, che in tempi recenti ha avuto una certa diffusione, anche se sono da evidenziare (a parità di concentrazioni e di tempi di contatto) rimozioni inferiori a quelle del cloro, costi certamente largamente superiori, un residuo in BOD per effetto dell'addizione del prodotto.

Come si è visto nella parte relativa alla normativa, la disinfezione con cloro-gas ed ipoclorito di sodio è sconsigliata dalla normativa vigente in Italia (D. Lgs. 258/00); la dizione della normativa è anche più generale, in quanto recita che la disinfezione "dovrà, nei limiti del possibile, evitare l'utilizzo e modalità di utilizzo di prodotti chimici, quali ad es. l'ipoclorito o il cloro gassoso, tali da comportare problemi ambientali e/o problemi sanitari causati dalla formazione di sostanze tossiche."

L'ozonazione ha il vantaggio di avere un forte effetto su tutti i tipi di batteriofagi e di cisti di protozoi anche quando sono applicate basse concentrazioni e ridotti tempi di contatto, ma anche l'ozonazione presenta qualche svantaggio: può formare aldeidi, chetoni ed epossidi, a seconda della concentrazione e del tipo di sostanze organiche presenti nell'acqua e delle condizioni operative di esercizio. Da evidenziare gli elevati costi di impianto, la sua complessità e delicatezza operativa, i costi energetici e dell'ossigeno, qualora esso venga utilizzato al posto dell'aria (tendenza in atto).



Attualmente, il più qualificato sistema di disinfezione "dedicata" è rappresentato dai raggi ultravioletti (UV) dovuto all'assenza finora registrata, di sottoprodotti nell'effluente finale, per quanto la loro formazione non può essere esclusa (ATV, 1993). Il processo - per essere applicato - richiede un effluente adeguatamente limpido (e cioè di elevata qualità, preferibilmente preventivamente sottoposto a filtrazione); i costi di esercizio - certamente inferiori a quelli dell'ozonazione - sono comunque elevati, derivanti sia dai consumi energetici, sia dall'onere del periodico cambio delle lampade. Per tutti questi inconvenienti e costi, secondo le raccomandazioni della Guida dell'ATV, il ricorso a sistemi di disinfezione "dedicata" deve essere fatto con massima parsimonia, tendendo a processi di disinfezione "all'origine" per effluenti particolarmente ricchi di patogeni (quali quelli di cliniche ed ospedali), provvedendo con le concentrazioni strettamente indispensabili per il riuso delle acque e limitandosi, nel caso, a disinfettare gli effluenti degli impianti di depurazione solo in particolari periodi dell'anno in cui lo richiedano le condizioni del corpo idrico ricettore o l'uso dell'acqua reflua o del corpo idrico in cui sia immessa.

## DISINFEZIONE CON SISTEMI "NATURALI"

Tenuti in considerazione i problemi ambientali connessi con l'uso di sistemi convenzionali dedicati di tipo "duro" - oltre ai problemi legati ai costi di gestione per il consumo di reagenti chimici, di energia, di pezzi di ricambio - emerge quanto siano vantaggiose tecniche "morbide" o "naturali" per potere ottenere elevati livelli di disinfezione, ed in tale ottica si sono dimostrate efficaci varie tecniche (la filtrazione "lenta" su sabbia, l'infiltrazione-percolazione, il lagunaggio-stoccaggio, la fitodepurazione).

Questi sistemi sono schematicamente illustrati nella fig. 4.

L'interesse ad attivare una disinfezione con questi sistemi "naturali" e la loro affidabilità è stata specificatamente messa in rilievo dal recente aggiornamento della vigente normativa Italiana (D. Lgs. 258/00), che - come già richiamato - recita che *"tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, con potenzialità superiore a 2 000 abitanti equivalenti, ad esclusione degli impianti di trattamento che applicano tecnologie depurative di tipo naturale quali la fitodepurazione ed il lagunaggio, dovranno avere obbligatoriamente un trattamento di disinfezione."* Così dicendo, viene data massima fiducia alle "tecnologie depurative di tipo naturale".

Nelle note che seguono, questi sistemi di depurazione naturale saranno rapidamente esaminati.

### **Filtrazione lenta su sabbia**

La filtrazione "lenta" su sabbia (velocità di filtrazione dell'ordine di 3-8 m/d) - ampiamente applicata fino dalla metà dell'Ottocento nella produzione delle acque potabili - come è noto sfrutta l'azione depuratrice soprattutto concentrata su una "pellicola biologica" superficiale che si forma sul mezzo filtrante, in grado di rimuovere oltre il 99% dei microrganismi presenti nell'influenta (preventivamente decantato o sottoposto a trattamento biologico secondario) senza necessità di alcun ulteriore trattamento.

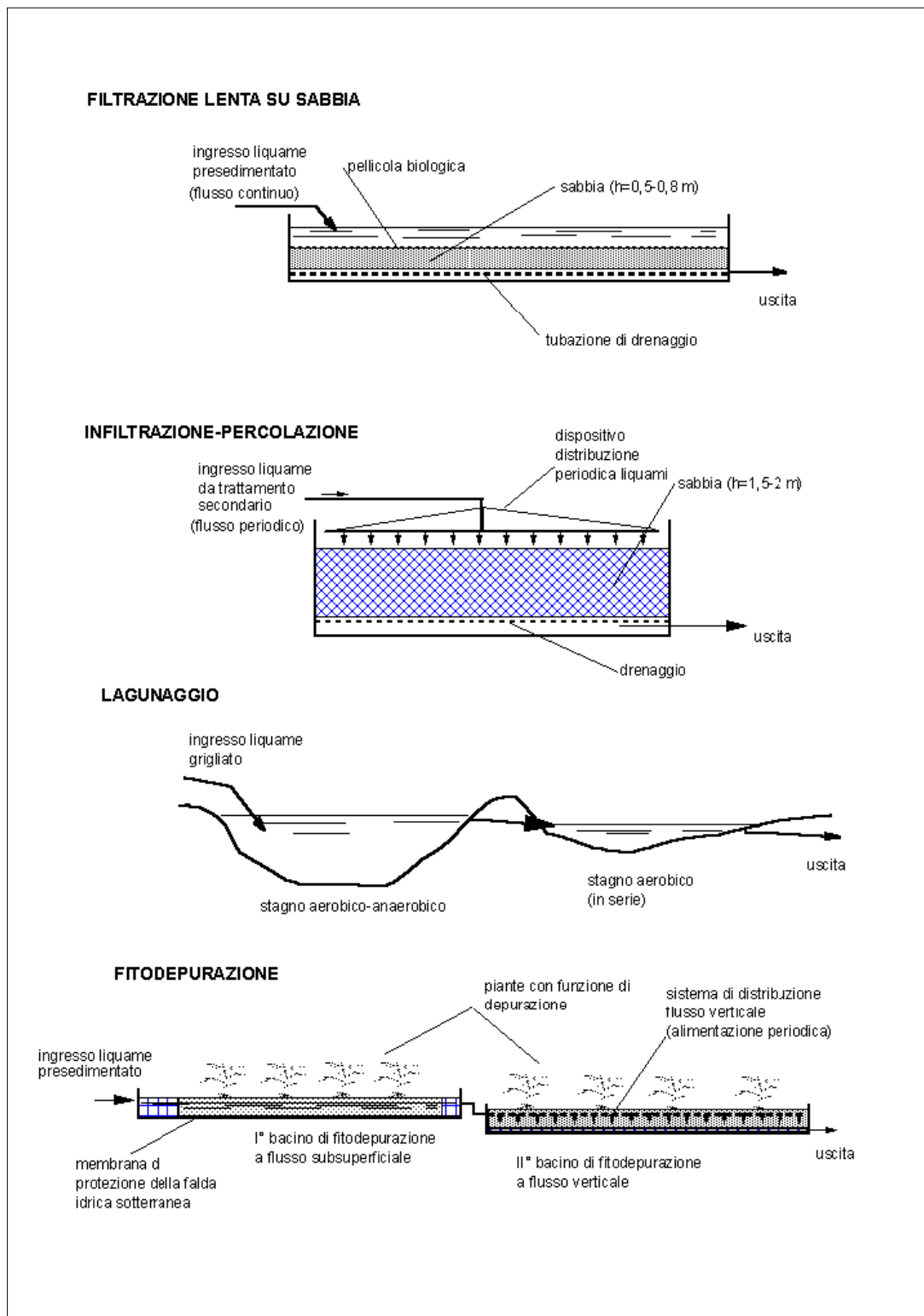


Fig. 4. Sistemi naturali di disinfezione

La tab. 8 riporta le rimozioni percentuali sull'effluente di un filtro percolatore, per differenti tipi di filtri analizzati da Ellis (1987) e con differenti velocità di filtrazione, e

dall'Agence de Bassin Loire-Bretagne (1980) e Christoulas et al. (1989) per un filtro lento trattante l'effluente di una fossa settica.

	Ingresso MPN/100 ml	Uscita MPN/100 ml	Rimozione e %
Filtro con sabbia fine (3.5 m d <sup>-1</sup> )(*)	1 366 000	40 980	97
Filtro con sabbia grossa (3.5 m d <sup>-1</sup> )(*)	1 366 000	40 980	97
Filtro con elevata velocità (7.0 m d <sup>-1</sup> )(*)	442 000	17 680	96
Filtro con bassa velocità (3.5 m d <sup>-1</sup> )(*)	442 000	4 420	99
Filtro con bassa velocità (**)	740 000	2 220	99.997
Filtro con bassa velocità (***)	1 000 000	10 000	99.99

Tab. 8. Rimozione percentuale di microrganismi con filtri "lenti" in varie condizioni operative

(\*) Ellis, (1987)

(\*\*) Esperienze dell'Agence de Bassin Loire-Bretagne, (1980)

(\*\*\*) Christoulas et al. (1989)

### **Infiltrazione-percolazione**

Questa tecnica è molto simile alla filtrazione lenta e - in armonia con recenti applicazioni (Salgot et al., 1996; Brissaud et al., 1997) consiste nella periodica distribuzione dell'effluente da un trattamento secondario sopra uno strato filtrante di sabbia (spessore 1.5-2 m). la periodica applicazione rende possibile i processi di filtrazione e di percolazione. Mentre l'effluente passa attraverso la sabbia, la periodica ricorrente presenza di aria entro lo strato di sabbia mantiene condizioni aerobiche. Con uno strato di 1.5 m e con un carico idraulico di 0.15-0.35 m/d, la rimozione dei Coliformi Fecali raggiunge 5 unità logaritmiche, le uova di elminti sono completamente eliminate e l'acqua recuperata può essere direttamente riutilizzata in agricoltura senza alcun genere di restrizione.

### **Lagunaggio - Bacini di stoccaggio**

Stagni di ossidazione ben progettati (profondità h = 1.5 - 2 m e tempo di detenzione di 10-50 d) e ben gestiti, che lavorino in serie con uno stadio finale di tipo aerobico (h = 0.5-1 m) (sistemi di stagni di stabilizzazione) possono pervenire a 6 unità logaritmiche di riduzione dei batteri, 3 unità logaritmiche di riduzione degli elminti e 4 di virus e cisti (Oragui et al., 1995, Emparaza-Knorr et al., 1995; Frederick et al., 1995) e possono produrre un effluente con una qualità microbiologica dell'acqua adatta per irrigazione senza restrizioni (Shuval, 1991). La rimozione è dovuta a più fattori: carenza di cibo, predazione, adsorbimento sulle alghe, alti valori del pH, radiazione solare. Essi rappresentano il metodo preferito per il trattamento delle acque reflue in climi caldi, allorquando il terreno è disponibile a costi ragionevoli (Curtis et al., 1994).

Rendimenti ancora più elevati nella rimozione di batteri, elminti, virus e cisti possono essere ottenuti ricorrendo a bacini di stoccaggio. Si tratta di bacini stagionali, con volume fino a 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ed anche oltre, come sono stati realizzati in Israele o in Giordania (Al Salem et al., 1993, Juanico et al., 1994) ove le acque reflue prodotte nel periodo invernale vengono accumulate per lunghi periodi (50-180 giorni) per poi essere direttamente utilizzate per irrigazione senza restrizioni. Questi bacini sono ampiamente

utilizzati nell'Italia Meridionale e in molte Nazioni del Mediterraneo (Indelicato et al., 1996).

La tab. 9 (Niedrum et al., 1991) riporta un diretto confronto fra la capacità di sistemi estensivi di trattamento delle acque reflue (stagni di stabilizzazione e bacini di stoccaggio) e sistemi intensivi di disinfezione (clorazione ed ozonazione) nel rimuovere i principali microrganismi.

	Batteri	Elminti	Virus	Cisti
Disinfezione "dedicata" <sup>(1)</sup>	2-6	0-1	0-4	0-3
Stagni di stabilizzazione <sup>(2)</sup>	1-6	1-3	1-4	
Bacini di stoccaggio	1-6	1-3	1-4	1-4

<sup>(1)</sup>Clorazione ed ozonazione

<sup>(2)</sup> Il rendimento dipende dal numero di bacini in serie

Tab. 9. Rimozioni attese per sistemi di disinfezione intensivi ed estensivi

### Fitodepurazione

Secondo Siedel (1976), Gersberg et al. (1989b) e Kadlec et al. (1996) i principali fattori responsabili dell'abbattimento della carica microbiologica in sistemi a flusso subsuperficiale sono processi fisici come la filtrazione meccanica, la sedimentazione e l'adsorbimento; processi chimici come il rilascio di ossigeno dalle piante, e meccanismi biologici, come la morte naturale, la predazione e l'azione di sostanze antibiotiche rilasciate dalla macrofite.

Gopal et al. (1993) hanno trovato che alcuni acidi quali l'acido tannico e l'acido gallico sono secreti dalle radici di molte piante acquatiche e sono all'origine di questa attività antimicrobica. Oltre a questo effetto diretto, lo sviluppo favorito nella rizosfera di popolazioni di batteri con proprietà antibiotiche (ad es. *Pseudomonas*) può pure contribuire alla rimozione dell'*Escherichia Coli* (Ottava, 1997). E' possibile che funghi possano assolvere un ruolo simile, per quanto non sia abbiano dati sul significato delle popolazioni di funghi nella rimozione dell'*Escherichia Coli* in sistemi di fitodepurazione.

Soto et al. (1999) e Decamp et al. (2000) hanno confermato che la presenza di piante incrementa la rimozione di microrganismi. In effetti, essi hanno trovato che in substrati piantumati, le velocità di rimozione sono maggiori che nei sistemi non piantumati, e questo è stato spiegato con l'azione di essudati prodotti dalle radici di molte specie, inclusa la *Phragmites Australis*, che sono tossici per una serie di batteri.

La fig. 5 riporta la percentuale di rimozione per i Coliformi Totali (TC) e per i Coliformi Fecali (FC) in differenti sistemi a flusso subsuperficiale, che trattano effluenti secondari. Per quanto riguarda la vegetazione, sono state sperimentate diverse specie: *Glyceria* (Ottava et al., 1997), *Phalaris* (Ottava et al., 1997), *Phragmites* (Green et al., 1997, Ottava et al., 1997, Laber et al., 1999), *Scirpus* (Soto et al., 1999, Gersberg et al., 1989a) e una combinazione di *Thyfa*, *Scirpus*, *Salix nigra* e *Populus fremontii* (Thurston et al., 1996); sono riportati pure i dati relativi a sistemi non piantumati (Soto et al., 1999).

Come può essere visto dalla Fig. 5, i sistemi ghiaia+piante raggiungono i più alti rendimenti nella rimozione della carica microbiologica (fino al 99,9%) e per quanto riguarda le specie, *Scirpus* e *Phragmites* sono più efficaci di altre macrofite nella rimozione dei batteri fecali.

La fig. 6 si riferisce alla rimozione di CF in sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale (Kadlec et al., 1996; Soto et al., 1999; Thurston et al., 1996) il cui tempo di detenzione idraulico varia fra 1.5 e 8 d (con l'eccezione di Arcata 2, dove è mediamente di 13.3 d): è interessante notare come i rendimenti sono in genere inferiori a quelli dei sistemi subsuperficiali di fig. 5.

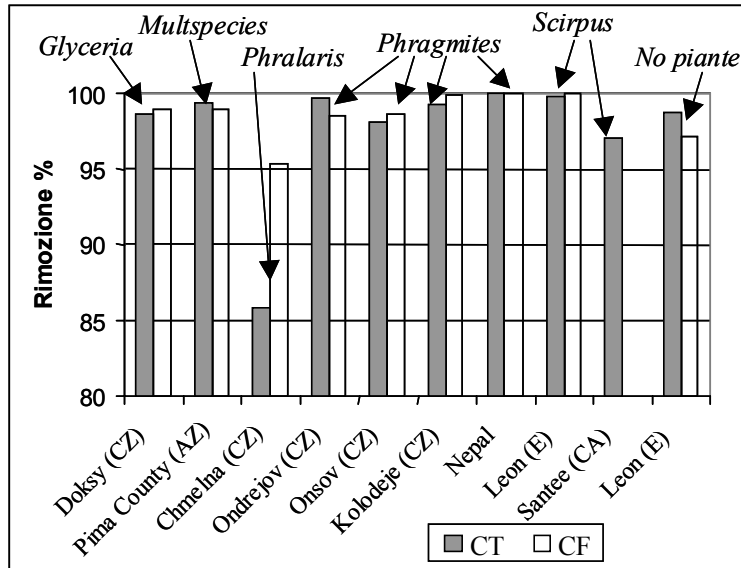


Fig. 5. Rimozione di Coliformi Totali (TC) e Coliformi Fecali (FC) in diversi impianti a flusso subsuperficiale

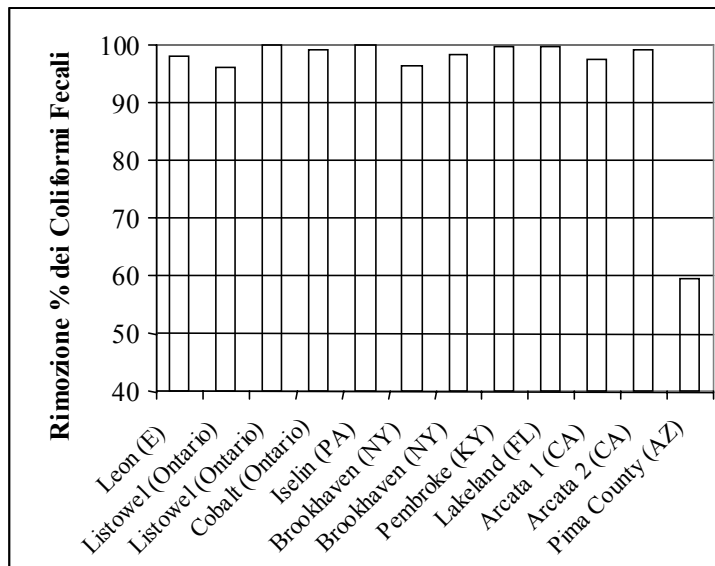


Fig. 6. Efficienza di rimozione per i coliformi fecali in diversi impianti a flusso superficiale

Al contrario, per quanto riguarda i protozoi enterici patogeni quali *Giardia* e *Cryptosporidium*, l'indagine effettuata sul Pima County Constructed Ecosystem Research Facility (Thurston et al., 1996) ha evidenziato che in uno stagno coperto con lemna i rendimenti di rimozione sono risultati del 93% per le cisti di *Giardia* e del 91% per le oocisti di *Cryptosporidium*, mentre in una sistema di fitodepurazione a flusso subsuperficiale con varie specie di piante, i rendimenti di rimozione sono rispettivamente solo dell'83% e del 68%.

## CONCLUSIONI

La tendenza a ricorrere a sistemi “naturali” appare evidente nel caso della depurazione delle acque reflue urbane (specialmente nel caso di piccole e medie Comunità) per tutta una serie di grandi vantaggi connessi con il basso impatto ambientale in generale, il ridotto impatto – in particolare – sul corpo idrico ricettore, la capacità di adeguarsi ad elevate punte di carico idraulico ed organico, l'utilizzazione di fonti energetiche naturali e rinnovabili, l'assenza di reagenti chimici, la semplicità gestionale.

Sono vantaggi che – finalmente – anche in Italia in tempi recenti ne stanno favorendo un'ampia diffusione.

Esattamente gli stessi vantaggi sono individuabili nell'utilizzazione dei sistemi “naturali” mirati alla disinfezione delle acque reflue, sia prima del loro smaltimento finale che prima del loro riuso, con i quali non solo possono essere limitati o frequentemente annullati i consumi energetici, ma soprattutto si evita l'immissione nell'ambiente di sostanze chimiche pericolose e di difficile degradazione (quali sono quelle prodotte, in vario grado, dalla maggioranza dei sistemi convenzionali di disinfezione “dedicati”), il tutto con un'assoluta semplicità gestionale. La recente legislazione italiana sostiene nettamente questi sistemi che giustamente sono visti con grande favore da parte di tutti i movimenti ambientalisti. Appare pertanto evidente l'interesse che sul tema della disinfezione delle acque reflue con sistemi naturali, siano sviluppate ulteriori sistematiche ricerche, atte a meglio chiarire i complessi fenomeni ed a rendere disponibili semplici e sicuri criteri progettuali, per tutte le future applicazioni a livello costruttivo.

## BIBLIOGRAFIA

Agence de Bassin Loire-Bretagne (1980). *L'assainissement individuel - Principes et techniques actuelles - étude inter-agences*, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, F.

Al Salem S.S., Khouri N. (1993). *Appropriate wastewater treatment for agricultural use*. Proc. of Advanced Short Course on Sewage: Treatment Practices-Management for Agricultural Use in Mediterranean Countries. Cairo, Egypt, pp. 257-279

Asano T. (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, PA.

Brissaud F., Salgot M., Folch M., Campos C., Blasco A., Gomez D. (1997). *Full Scale Evaluation of Infiltration Percolation for Polishing Secondary Effluents*; Proc. Intern. Confer. on Beneficial Reuse of Water and Biosolids, Marbella, Malaga, Spain

- Christoulas D.G., Andreadakis A.D. (1989). *A System for on Site Treatment and Disposal of Wastewater from Tourist Resorts*; Wat. Sci. Tech., 21(1), pp. 37-45.
- CIRSEE-Lyonnaysse des Eaux (2000). *Wastewater Reuse Standards: Goals, Status and Guidelines*, First Annual Report, Work Package 1 Part 1, CatchWater ENV4-CT98-0970.
- Crook J. (1990). Water Reclamation. In: Encyclopedia of Physical Science and Technology, R. Myers (ed) Academic Press, Inc. San Diego, CA, pp. 157-187
- Curtis T.P., Mara D.D. (1994). *The effect of sunlight on mechanisms for the die-off of faecal Coliform Bacteria in Waste stabilization Ponds*, Research Monograph n.1.
- Decamp O., Warren A. (2000). *Investigation of Escherichia Coli removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment*, Ecol. Eng. 14, pp.293-299.
- Decreto Legislativo 11.5.1999, n. 152 *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 101, 29 maggio 1999.
- Decreto Legislativo 18.8.2000, n. 258, *Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11.5.1999 in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'art. 1, comma 4 della legge 24.4.1998 n. 128*, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 218 del 18 settembre 2000
- Ellis K.V. (1987). *Slow Sand Filtration as a Technique for the Tertiary Treatment of Municipal Sewages*, Wat. Sci. Tech., 21(4), pp. 403-410
- Emparanza-Knorr A., Torrella F. (1995). *Microbiological Performance and Salmonella Dynamics in a Wastewater Depuration Pond System of Southeastern Spain*, Wat. Sci. Tech., 31(12), pp. 239-248.
- Frederick G.L., Lloyd B.J. (1995). *Evaluation of Serratia Marcescens Bacteriophage as a Tracer and a Model for Virus Removal in Waste Stabilisation Ponds*, Wat. Sci. Tech., 31(12), pp. 291-302
- Galapate R.P., Kitanaka A., Ito K., Mukai T., Shoto E., Okada M. (1997). *Origin of Trihalomethane (THM) Precursors in Kurose River, Hiroshima, Japan*, Wat.Sci.Tech., 35(8), pp. 15-20.
- Gersberg R.M., Gearheart R.A., Ives M. (1989a). Pathogen Removal in Constructed Wetlands. In: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Municipal, Industrial and Agricultural, D.A.Hammer (ed), Lewis Publisher, Chelsea, MI, pp. 431-445.
- Gersberg R.M., Lyon S.R., Brenner R., Elkins B.V. (1989b). Integrated wastewater treatment using artificial wetlands: a gravel marsh case study. In Constructed wetlands for Wastewater treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. D.A. Hammer (Ed.) Lewis Publishers. Chelsea. Michigan pp. 145-152
- Gopal B., Goel U. (1993). *Competition and Allelopathy in Aquatic Plant Communities*, Botanical Rev., 59, pp. 155-210
- Green M.B., Griffin P., Seabridge J.K., Dhoibie D. (1997). *Removal of Bacteria in Subsurface Flow Wetlands*, Wat. Sci. Tech., 35(5), pp. 109-116.
- Guide ATV - H 205E (1993). *Disinfection of Wastewater; German ATV Standards, Wastewater-Waste, Abwassertechnische Vereinigung E.V.*, German Association for the Water Environment.

- Indelicato S., Barbagallo S., Cirelli G.L. (1996). *Prospettive dell'irrigazione con acque reflue in Sicilia*; *Tecnica Agricola*, 1, pp. 29-42
- Juanico M., Shelef G. (1994). *Coliform Removal in Stabilization Reservoirs for Wastewater Irrigation in Israel*; *Wat. Res.*, 28(1), 175-186
- Kadlec H.K., Knight R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kim T.D., Unno H. (1996). *The Roles of Microbes in the Removal and Inactivation of Viruses in a Biological Wastewater Treatment System*, *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11), pp. 243-250.
- Laber J., Haberl R., Shresta R. (1999). *Two-Stage Constructed Wetland for Treating Hospital Wastewater in Nepal*. *Wat. Sci. Tech.*, 40(3), pp. 317-324.
- Lazarova V., Janex M.L., Fiksdal L., Oberg C., Barcina I., Pommepuy M. (1998). *Advanced Wastewater Disinfection Technologies: Short and Long Term Efficiency*, *Wat. Sci. Tech.* 38(12), pp. 109-117.
- Niedrum S.B., Karioun A., Mara D.D., Mills S.W. (1991). *Appropriate Wastewater Treatment and Reuse in Morocco-Boujad: a Case Study*, *Wat. Sci. Tech.* 24(9) pp.205-213
- Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue, Bozza di Decreto Ministeriale, 2000
- Oragui J.I., Arridge H., Mara D.D., Pearson H.W., Silva S.A. (1995). *Rotavirus Removal in Experimental Waste Stabilization Pond System with Different Geometries and Configurations*, *Wat. Sci. Tech.*, 31(12) pp. 285-290.
- Ottova V., Balcarova J., Vymazal J. (1997). *Microbial Characteristics of Constructed Wetlands*, *Wat. Sci. Tech.*, 35(5), pp.117-123.
- Salgot M., Brissaud F., Campos C. (1996). *Disinfection of Secondary Effluents by Infiltration-Percolation*; *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11), pp. 271-276.
- Shuval H.I. (1991). *The Development of Health Guidelines for Wastewater Reclamation*, *Wat. Sci. Tech.*, 24(7), pp. 149-155.
- Siedel K. (1976). *Macrophytes and Water Purification*. In: *Biological Control of Water Pollution*, Tourbier J. and Pierson, R.W. (eds) University of Pennsylvania Press.
- Soto F., Garcia M., de Luis E., Bécares E. (1999). *Role of Scirpus Lacustris in Bacterial and Nutrient Removal from Wastewater*. *Wat. Sci. Tech.*, 40(3), pp 241-247.
- Stanfield G. (1996). *Alternative Choices for Disinfections*, First European Symposium on Chlorine Dioxide and Disinfection, Rome, pp.177-190.
- Thurston J.A., Falabi J.A., Gerba C.P., Foster K.E., Karpiscak M.M. (1996). *Fate of Indicator Microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in Two Constructed Wetlands*, 5<sup>th</sup> Int. Conf. On Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna.
- WHO (1989). *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. WHO Technical Report Series 778, Geneva
- WHO and UNEP (1977). *Health Criteria and Epidemiological Studies Related to Coastal Water Pollution*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO and UNEP (1987). *Environmental Quality Criteria for Shellfish-Growing Waters and Shellfish in the Mediterranean*. WHO/EURO document EUR/ICP/CEH 051. WHO/EURO Copenhagen