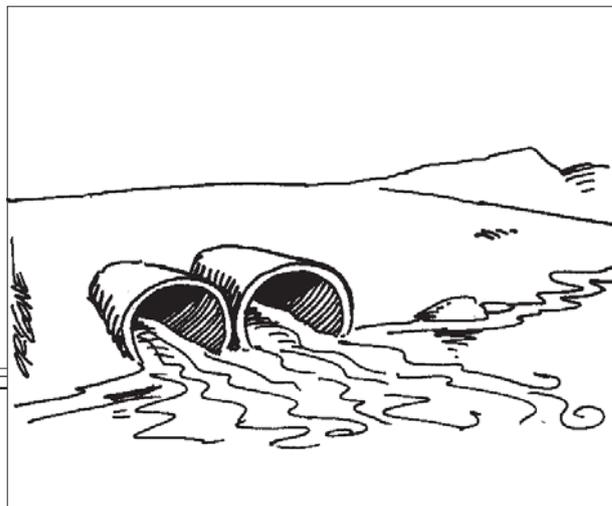


DEPURAZIONE



Esperienza di disinfezione con acido peracetico di un effluente di un depuratore biologico

Pergetti Mauro¹, Davoli Donatella¹, Gaccioli Monica¹, Sansebastiano Giuliano², Stecchi Roberta³

RIASSUNTO

Attraverso una sperimentazione effettuata in campo è stata valutata l'efficacia di disinfezione dell'acido peracetico nei confronti dei principali indicatori (batterici e virali) di inquinamento fecale. La ricerca ha evidenziato che un dosaggio di 2 mg/l è in grado di garantire il raggiungimento dei requisiti imposti per lo scarico in acque superficiali mentre è necessario utilizzare dosaggi di 6 mg/l per il rispetto dei limiti per la balneazione.

Parole chiave:

disinfezione, acido peracetico, indicatori fecali, acqua di scarico

INTRODUZIONE

Attraverso il normale processo depurativo (trattamenti primari e fanghi attivi) si ottiene un buon abbattimento, quantificabile in 1 o 2 unità logaritmiche, del carico batterico patogeno (PASSINO, 1983); ciò, però, non consente il raggiungimento dei limiti imposti dalla normativa vigente sia per lo scarico in acque superficiali che per la balneazione o l'uso irriguo (Tab. I)

Infatti, dati carichi medi in ingresso di coliformi totali compresi tra 10^6 e $10^9/100$ ml, il numero di coliformi in uscita da un depuratore –pur con la piena efficienza di tutte le fasi di trattamento– varierà tra 10^4 e 10^7 .

Per il raggiungimento degli standard di accettabilità occorre sottoporre i reflui depurati a trattamenti di disinfezione. Il sistema di disinfezione ideale dovrebbe poter garantire la massima efficacia, essere incapace di originare sottoprodotti indesiderati o nocivi, essere di facile applicabilità e possibilmente avere un costo contenuto di gestione e di investimento.

¹ AGAC, Reggio Emilia

² Istituto di Igiene, Università degli Studi di Parma

³ Air Liquide Italia, Milano

Tab. I - Limiti normativi relativi alle acque di scarico

	scarico in acque superficiali L. 319/76	balneazione DPR 8/6/82	uso irriguo Del. 4/2/77
coli totali /100ml	20000	2000	2 o 20*
coli fecali/100ml	12000	100	
strepto fecali /100ml	2000	100	

* dipende dal tipo di coltura

Gli agenti disinfettanti maggiormente utilizzati per le acque di scarico sono alcuni composti del cloro, in particolare l'ipoclorito di sodio, i raggi ultravioletti e l'acido peracetico.

L'ipoclorito, pur essendo uno dei disinfettanti a minor costo, ha uno scarso potere battericida (non essendo attivo contro le spore) e porta alla produzione di molte sostanze tossiche e cancerogene. Inoltre è stata evidenziata la comparsa di interferenze sull'efficacia disinfettante dovute alla presenza di solidi sospesi (PUZZARINI, 1997).

La disinfezione con raggi ultravioletti presenta ottime caratteristiche. Nel Nord America già da diversi anni tale tecnica è utilizzata nella disinfezione di reflui di origine domestica (PARROTTA e BEKDASH, 1998). I dati ricavati dalla letteratura dimostrano la sua efficacia nei confronti dei batteri indicatori di contaminazione fecale quali i coliformi fecali; inoltre non induce formazione di prodotti secondari e presenta un basso costo di esercizio, comparabile a quello dell'ipoclorito (BLATCHLEY, *et al.*, 1996). Gli inconvenienti dell'irraggiamento con UV sono la mancanza di batteriostasi –che ha come conseguenza la ricrescita batterica per fotoriattivazione– e i bassi rendimenti di disinfezione in presenza di torbidità dell'effluente.

L'acido peracetico (PAA) è un potente agente antimicrobico già impiegato in numerosi settori quali l'industria alimentare e farmaceutica; solo recentemente è stato utilizzato nel campo della depurazione. Il prodotto che viene utilizzato commercialmente si ottiene per reazione tra perossido d'idrogeno e acido o anidride acetica; si tratta di una reazione di equilibrio che conduce ad una miscela costituita da acido peracetico e perossido d'idrogeno oltre che da acido acetico, acqua e stabilizzanti. Non è possibile utilizzare acido peracetico puro in quanto estremamente instabile e sensibile alla temperatura.

L'efficacia di questo disinfettante è dovuta all'azione ossidante che nei microrganismi altera o

distrugge diverse strutture vitali quali proteine, membrana plasmatica, alcuni enzimi del metabolismo e il DNA, provocando la loro inattivazione.

I dati ricavati dalla letteratura scientifica, riguardanti sperimentazioni condotte sugli effluenti dei depuratori, dimostrano l'efficacia di tale disinfettante per quanto riguarda i principali indicatori batteriologici considerati dalla legge Merli.

In particolare si sono ottenuti abbattimenti degli indicatori fecali variabili dalle 2 alle 3 unità logaritmiche con concentrazioni di acido peracetico comprese tra 1 e 6 mg/l e con tempi di contatto di 5-30 minuti (LEFEVRE *et al.*, 1992; CAVADORE *et al.*, 1993; ANDREOTTOLA *et al.*, 1996; PUZZARINI, 1997).

L'acido peracetico è completamente biodegradabile e sembrerebbe incapace di formare sottoprodotti sconosciuti o indesiderati, ma non sono ancora noti i derivati che possono formarsi in seguito alle reazioni che avvengono tra l'ossidante e la matrice organica presente nell'effluente. Per questo motivo alcuni autori consigliano, come misura estremamente cautelativa, di effettuare un pretrattamento di filtrazione e/o chiariflocculazione prima di procedere alla disinfezione (MANDRA *et al.*, 1996).

Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati di un'indagine sperimentale sulla disinfezione di acque reflue con acido peracetico condotta presso un impianto di depurazione sito in località Bosco di Scandiano, in provincia di Reggio Emilia.

MATERIALI E METODI

L'impianto oggetto di studio (Fig. 1) tratta acque di origine domestica ed è costituito da comparti di sollevamento, grigliatura, dissabbiatura, disoleatura, ossidazione biologica (fanghi attivi ad aerazione prolungata) e sedimentazione secondaria; di qui gli scarichi vengono inviati alla vasca di disinfezione, anche se attualmente questo trattamento non viene imposto dall'autorità di controllo. La portata me-

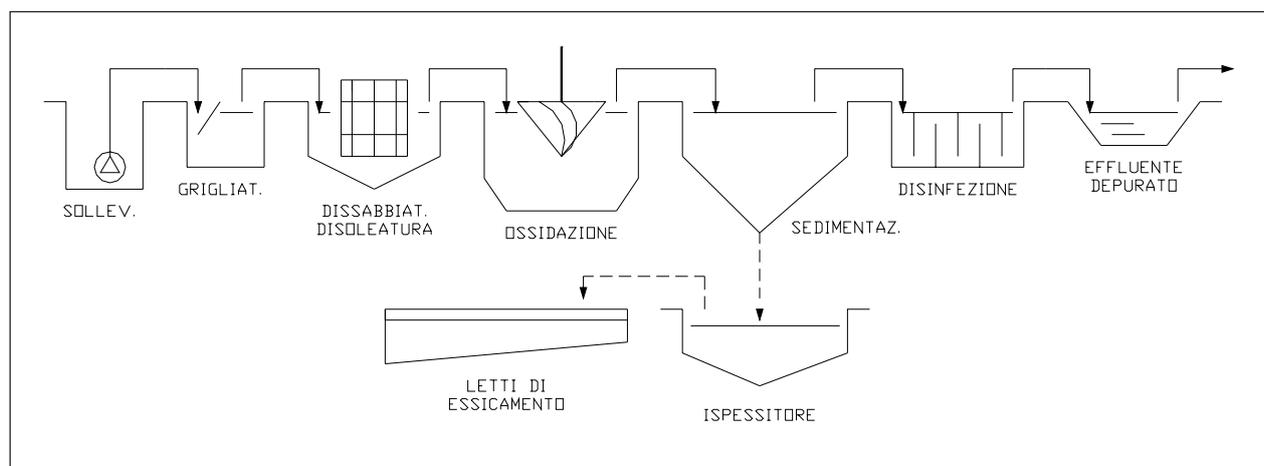


Fig. 1 - Schema dell'impianto di depurazione utilizzato per la sperimentazione

dia dell'impianto è di circa 1800 m³/d.

Le prove di disinfezione sono state effettuate per circa 4 mesi; si è provveduto ad installare un serbatoio di stoccaggio dal quale, attraverso una pompa dosatrice, il prodotto veniva dosato all'uscita del sedimentatore nel canale di collegamento con la vasca di disinfezione. Per la sperimentazione è stata utilizzata una soluzione commerciale (Bactipal 15 23) a base di acido peracetico e perossido di idrogeno nelle seguenti proporzioni: acido peracetico al 15% (p/p) e perossido di idrogeno al 23% (p/p). Il bacino di disinfezione garantiva un tempo di residenza di circa 25 minuti.

La sperimentazione è iniziata con un dosaggio di 6 mg/l di acido peracetico; successivamente si è ridotto il prodotto utilizzato sino a raggiungere la concentrazione di 1 mg/l.

Ai differenti dosaggi, con una frequenza settimanale o bisettimanale, venivano prelevati campioni estemporanei in ingresso e in uscita dalla vasca di disinfezione; il prelievo in uscita veniva ritardato di 25 minuti.

Sui campioni prelevati venivano determinati temperatura, pH, COD, solidi sospesi, potenziale redox e torbidità (IRSA-CNR, 1994). Sono inoltre stati effettuati prelievi in bottiglie sterili, con aggiunta di tiosolfato sodico per neutralizzare il disinfettante residuo, per la ricerca di coliformi totali, coliformi fecali e streptococchi fecali mediante la tecnica delle membrane filtranti (IRSA), di *Escherichia coli* (su terreno Coli ID), di batteriofagi anti *Escherichia coli* (metodo di Grabow) e delle salmonelle (UNICHIM,

1994). La sperimentazione, iniziata nel mese di ottobre 1996, è proseguita fino al gennaio 1997.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati della sperimentazione sono riportati sinteticamente nelle tabelle II e III.

I valori di inquinamento microbico misurati nell'effluente non disinfettato sono in linea con quanto trovato da altri Autori (SPAGGIARI *et al.*, 1991; FARNETTI *et al.*, 1992; LEFEVRE *et al.*, 1992; BUONAFEDE *et al.*, 1991): i coliformi totali variano da 10⁶ a 10⁵/100 ml, i coliformi fecali da 10⁵ a 10⁴/100 ml, gli streptococchi fecali da 10⁴ a 10²/100 ml.

Il dosaggio di acido peracetico (PAA) ha determinato un aumento del potenziale di ossido riduzione abbastanza evidente, anche se non molto correlato alla quantità aggiunta; di contro, le variazioni di pH sono risultate significative solo ai dosaggi maggiori.

L'utilizzo di acido peracetico porta come conseguenza l'incremento di COD; esso, infatti, in acqua si decompone rapidamente in acido acetico, acqua e ossigeno.

L'acido acetico, che è una sostanza rapidamente biodegradabile, comporta un incremento di COD di circa 2,8 mg/mg PAA. Le variazioni di COD misurate durante l'esperienza hanno oscillato nell'intervallo - 36 ÷ 42 mg/l; questa differenza è sicuramente in parte legata al tipo di campionamento (istantaneo) e non imputabili interamente, soprattutto per l'incremento positivo, all'acido peracetico (Fig. 2).

Tab. II - Parametri chimici misurati in ingresso e in uscita dal bacino di disinfezione.

Campione	T.Q.							TRATTATO					
	Data	Dosaggio PAA mg/l	pH	P. redox mV	T °C	MST mg/l	COD mg/l	Torbidità NTU	pH	P. redox mV	T °C	MST mg/l	COD mg/l
01/10/96	0	8,03	150	18,4	2,5	21,5	0,66	7,99	160	18,3	1,5	24,5	0,65
12/11/96	6	7,82	149	15	15	48	1,5	7,32	336	14,8	3	85	2,2
19/11/96	6	7,48	165,4	15,1	6	55	6	7,29	372	15,7	6	97	1,2
15/10/96	5,8	7,45	198	19,9	6	34	2,1	7,3	354	16,8	1	39	1,4
22/10/96	5,6	7,58	177,5	16,4	8	45,5	1	6,58	362	16,2	7	58	0,15
11/12/96	5,6	7,37	253	11,2	52	70,5	1,8	7,18	387	10,3	54	84,5	2,5
16/12/96	5,2	7,52	173		3,5	55		7,51	245		3,56	46	
03/12/96	5	7,65	127	11	5,2	54	2,2	7,5	362	12,5	3,6	86	1,3
27/11/96	4,9	7,6	142,5	11,3	2	46		7,6	376	11	4	91	
17/12/96	4,7	7,48	161	10,6	5,5	82	2,1	7,28	389	10,5	4,7	46,5	2
04/11/97	3	7,46	142,3	15,2	5	46	1,5	7,45	247	14,7	5	49	0,7
15/01/97	2,7	7,76	140	9	20	89		7,82	289	9,01	23	84	
21/01/97	2,7	7,52	160	9,9	5,7	27	0,55	7,42	380	9,7	13,5	71	1
28/01/97	2,4	7,68	110	10,1	16	26	0,62	7,62	351	10,5	15	50	1,01
22/01/97	2,2	7,53	145,5	10,8	7	23	0,7	7,35	383	10,8	8	40	1,2
29/01/97	1,3	7,62	157,7	10,1	8	23	1,3	7,68	260	10,5	3	27	1,2
30/01/97	1,1	7,78	160,7	10,2	5	28	1,2	7,57	208	10	4	28	1,2

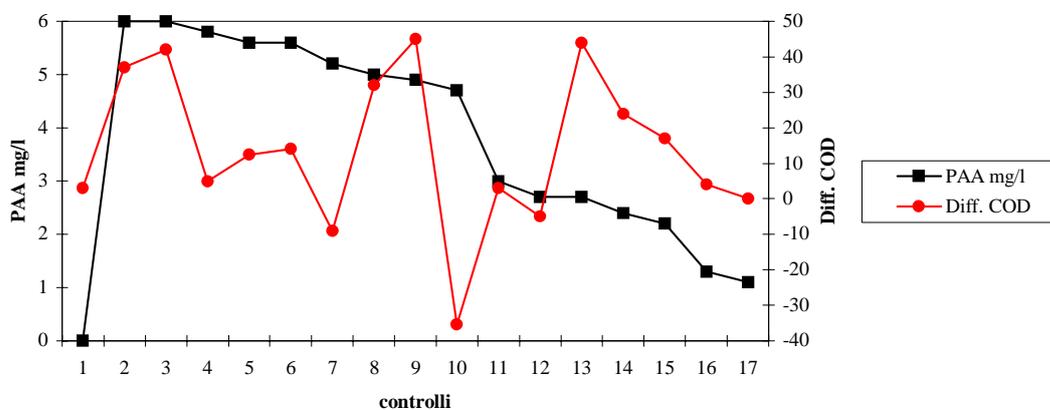


Fig. 2 - Variazione di COD misurata tra ingresso disinfezione e uscita disinfezione ai differenti dosaggi di acido peracetico.

Tab. III - Parametri microbiologici misurati in ingresso e in uscita dal bacino di disinfezione e % di abbattimento.

Data	Dosaggio PAA mg/l	Colif. totali UFC/100ml		Abb. %	Colif. fecali UFC/100ml		Abb. %	Strept. fecali UFC/100ml		Abb. %	E. coli UFC/100ml		Abb. %	Batteriofagi UFC/100ml		Abb. %
		T.Q.	U		T.Q.	U		T.Q.	U		T.Q.	U		T.Q.	U	
01/10/96	0	109000	414000	0,0	93000	98000	0,0	18000	19000	0,0	67000	73000	0,0	500	711	0,0
12/11/96	6	143000	100	99,9	33000	100	99,6	700	10	99,1	12000	100	99,1	100	0	100,0
19/11/96	6	108000	100	99,9	83000	200	99,7	2000	10	99,5	43000	0	100,0	380	4	98,9
15/10/96	5,8	240000	900	96,2	84000	100	99,8	2600	75	97,1	26000	100	99,6	260	8	96,9
22/10/96	5,6	610000	100	99,9	46000	100	99,7	4200	10	99,7	28000	100	99,6	540	1	99,8
11/12/96	5,6	264000	77500	70,6	54000	200	99,6	7000	51	99,2	19000	10	99,9	1208	214	82,2
16/12/96	5,2	22000	3500	84,1	6000	200	96,6	800	170	78,7	1000	100	90,0	989	127	87,1
03/12/96	5	580000	100	99,9	3450	300	91,3	1400	10	99,2	32000	0	100,0	9	1	89,0
27/11/96	4,9	264000	100	99,9	249000	600	99,7	9100	10	99,8	28000	100	99,6	60	2	96,6
17/12/96	4,7	120000	1000	99,1	5000	100	98,0	1400	10	99,2	6500	100	98,4	690	7	98,9
04/11/97	3	310000	5400	98,2	26000	200	99,2	500	10	98,0	17000	100	99,4	360	24	93,3
15/01/97	2,7	585000	16000	97,0	87000	534	99,0	17000	900	94,7	60500	400	99,0	460	0	100,0
21/01/97	2,7	1080000	580	99,9	102500	100	99,9	7000	100	98,5	42000	100	99,7	140	0	100,0
28/01/97	2,4	345000	6734	98,0	151000	166	99,8	23000	50	99,7	97000	67	99,9	380	20	94,7
22/01/97	2,2	1050000	2500	99,7	86000	100	99,4	55000	0	100,0	32000	0	100,0	19	0	100,0
29/01/97	1,3	750000	63500	91,5	58500	7267	87,5	4200	2100	50,0	75500	1834	97,5	240	33	86,2
30/01/96	1,1	510000	155000	69,0	80000	45500	43,1	9350	5800	37,9	42000	8134	80,6	nr	163	

Durante la sperimentazione non sono state effettuate misurazioni del disinfettante residuo nell'effluente dal depuratore (acido peracetico e acqua ossigenata); non è possibile pertanto stimare se durante i 25 minuti di permanenza nei bacini di disinfezione avvenisse la completa decomposizione del prodotto o se dopo tale periodo esistesse ancora il rischio di sversare acqua contenente un forte ossidante potenzialmente pericoloso per l'ambiente idrico.

Nella figura 3 sono riportati gli abbattimenti dei principali indicatori batteriologici: coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali. Il primo dato riportato nel grafico si riferisce ad un controllo precedente l'inizio del dosaggio di acido peracetico (dosaggio 0 mg/l); in questo controllo l'abbattimento è stato indicato 0 perché i valori in uscita risultavano

essere uguali o superiori a quelli in entrata. Fino a dosaggi di 2 mg/l gli abbattimenti di tutti e tre gli indici risultano elevati (dalle 2 alle 3 unità logaritmiche), tranne tre casi in cui si registrano efficienze di abbattimento non uniformi dei parametri batteriologici.

Nelle figure 4, 5 e 6 sono considerati i valori in uscita rispettivamente di coliformi totali, coliformi fecali e streptococchi fecali. Risulta ancora evidente come, fino ad un dosaggio di 2 mg/l di PAA, sono rispettati i valori limite dettati dalla legge 319/76 relativa allo scarico in acque superficiali. Per quanto riguarda i coliformi totali, nel quinto controllo è stato registrato un valore superiore al limite di legge; in questo controllo è però da segnalare un alto valore di solidi sospesi nell'effluente che probabilmente, come

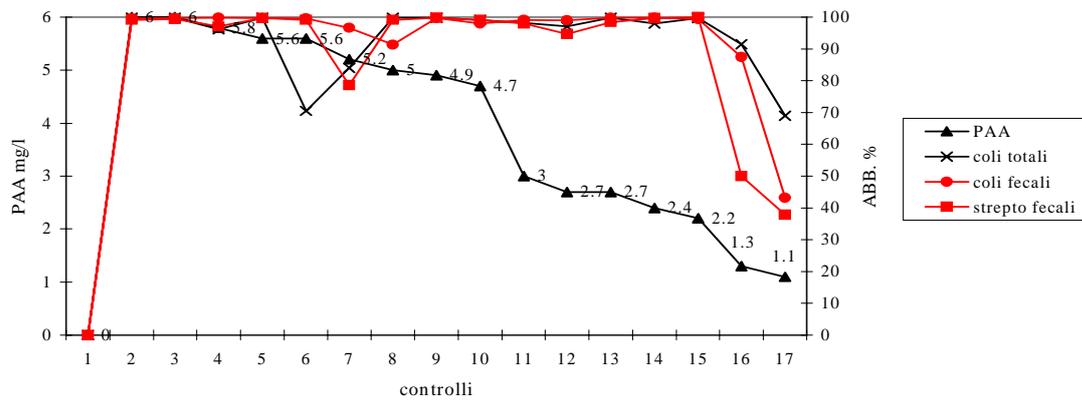


Fig. 3 - Abattimenti di coliformi totali, coliformi fecali e streptococchi fecali misurati ai vari dosaggi di disinfettante.

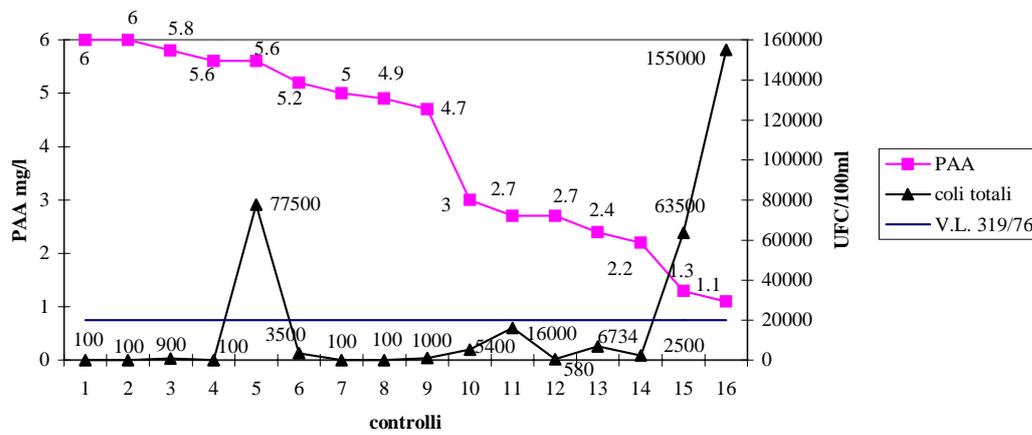


Fig. 4 - Valori di coliformi totali misurati in uscita dal bacino di disinfezione ai diversi dosaggi di acido peracetico.

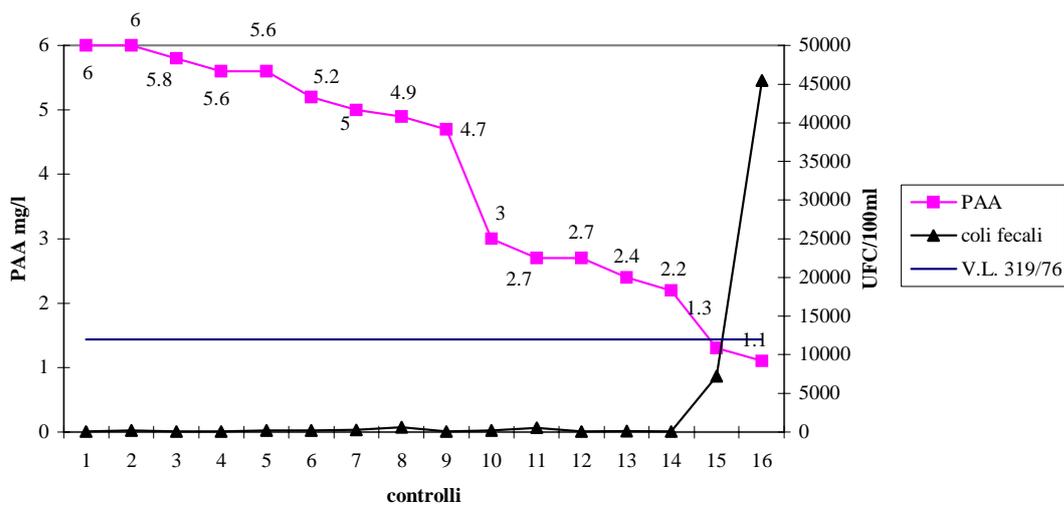


Fig. 5 - Valori di coliformi fecali misurati in uscita dal bacino di disinfezione ai diversi dosaggi di acido peracetico.

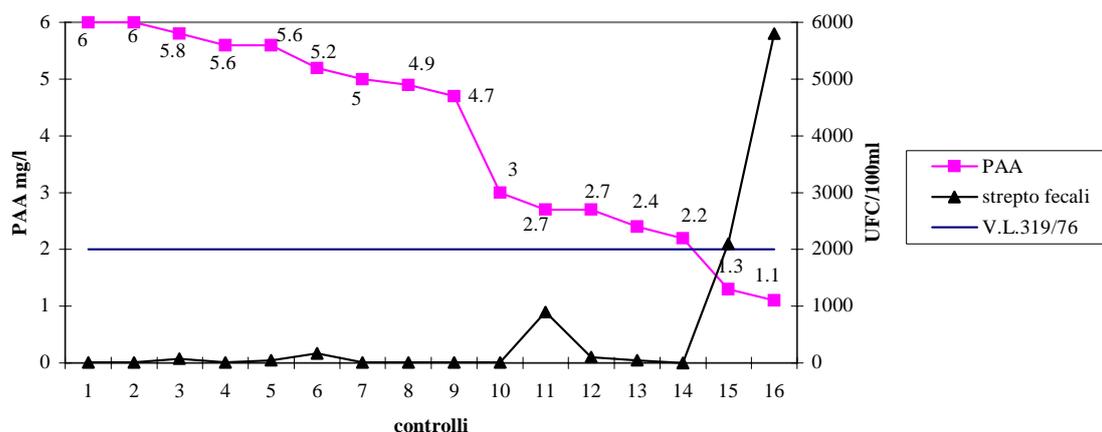


Fig. 6 - Valori di streptococchi fecali misurati in uscita dal bacino di disinfezione ai diversi dosaggi di acido peracetico.

segnalato da vari Autori (VILLA e OTTAVIANI, 1993; ANDREOTTOLA *et al.*, 1996), interferisce col processo di disinfezione. Il rispetto dei limiti per la balneazione sembra, invece essere garantito solo dai dosaggi più elevati (6 mg/l).

I risultati ottenuti con le quantità di disinfettante saggiato sono comunque molto distanti dagli standard indicati dalla Delibera del Comitato Interministeriale 4/2/77 All. 5/77, che fissa a 2 o 20 coliformi totali/100 ml, a seconda del tipo di coltura, il limite massimo per il riutilizzo agricolo delle acque depurate.

Dato che sempre di più si sta diffondendo la convinzione che la ricerca dei coliformi totali sia poco indicativa, sia per la scarsa specificità del metodi microbiologici, sia perché molti organismi coliformi totali sono di fatto batteri di tipo ambientale e quindi

senza alcun significato sanitario (LECLERC, 1990), le nuove tendenze internazionali si orientano sull'utilizzo di nuovi parametri. In particolare potrebbe essere molto interessante la ricerca di *Escherichia coli*, organismo fecale specifico, sensibile e con comportamento quasi simile a quello dei batteri patogeni. Dalla figura 7 è evidente come anche per questo parametro si registri una notevole diminuzione di efficienza di abbattimento per dosaggi inferiori ai 2 mg/l. A dosaggi superiori i valori misurati in uscita sono sempre inferiori alle 500 UFC/100 ml e quasi sempre inferiori o uguali a 100 UFC/100 ml.

Confrontando questi risultati con gli standard di accettabilità degli Organismi Internazionali (U.S.E.P.A., W.H.O.) che prevedono per l'uso irriguo un limite di 1000 coliformi fecali/100 ml, è

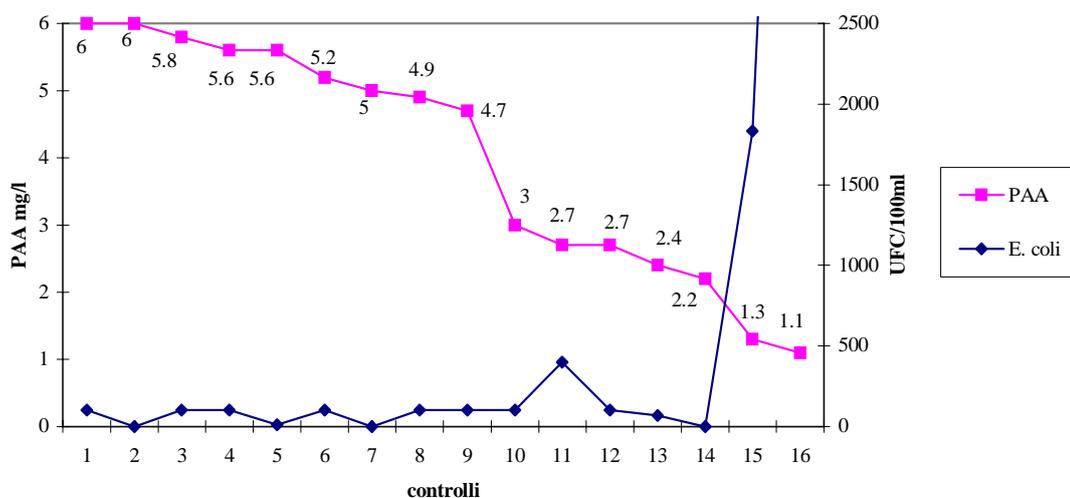


Fig. 7 - Valori di *Escherichia coli* misurati in uscita dal bacino di disinfezione ai diversi dosaggi di acido peracetico.

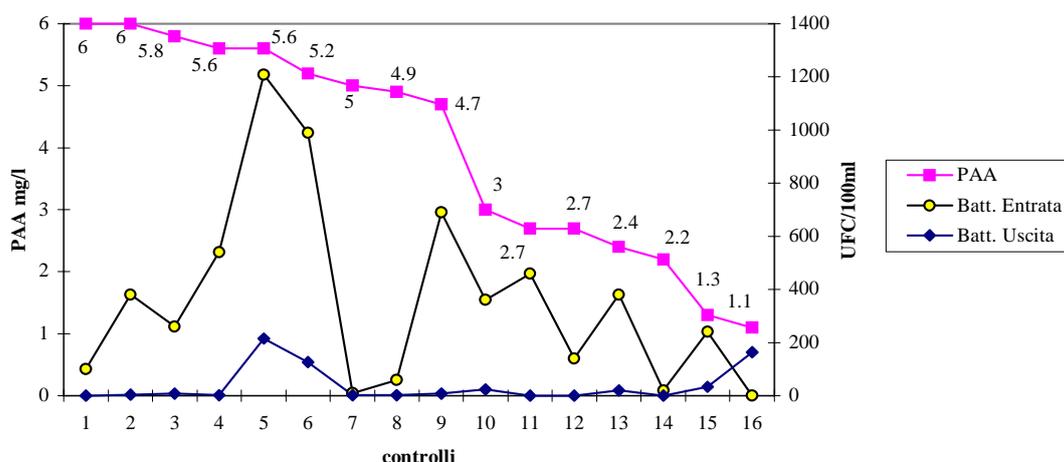


Fig. 8 - Valori di Batteriofagi misurati in uscita dal bacino di disinfezione ai diversi dosaggi di acido peracetico.

evidente come queste performance sarebbero raggiungibili con dosaggi di appena 2 mg/l di PAA e senza trattamenti preliminari di filtrazione.

Non è stato possibile valutare l'attività disinfettante nei confronti delle salmonelle in quanto non sono mai state isolate, neppure nell'acqua non trattata.

Per valutare l'efficacia del PAA nei confronti di un rischio di tipo virale si è valutata la presenza di batteriofagi anti *E. coli*; nella figura 8 sono riportati i valori, sia in entrata che in uscita dall'impianto, e i dosaggi di PAA.

Gli abbattimenti osservati sono stati sempre elevati per dosaggi superiori ai 2 mg/L, a parte due controlli. Una riduzione nell'efficienza di abbattimento è stata registrata in presenza di alte concentrazioni di solidi sospesi e nel controllo successivo (in questo caso accompagnata da analoga riduzione nell'abbattimento degli *Streptococchi fecali*) in corrispondenza di un basso valore di potenziale di ossido riduzione del refluo disinfettato. Si potrebbe in quest'ultimo caso ipotizzare un dosaggio di disinfettante inferiore a quello definito.

VALUTAZIONE DEI COSTI

Il costo di esercizio relativo alla sola disinfezione dell'acqua reflua del depuratore di Bosco con acido peracetico è stato determinato considerando le seguenti voci di costo:

- reattivi chimici
- energia elettrica
- materiali per la manutenzione ordinaria

- personale per la conduzione e la manutenzione
- ammortamento tecnico delle opere civili e idrauliche, di quelle elettriche ed elettromeccaniche applicate al caso specifico in esame.

I costi per unità di acqua reflua trattata al variare del dosaggio di acido peracetico sono mostrati nella Tab. IV.

In considerazione dei risultati ottenuti –che hanno evidenziato come un dosaggio di 2 mg/l di acido peracetico sia in grado di garantire il rispetto dei limiti batteriologici di Tab. A della legge 319/76– il costo di esercizio derivante dalla fase di disinfezione risulta essere di 42 £/m³.

A puro titolo di esempio si confrontano tali costi con quelli che si avrebbero utilizzando dei sistemi di disinfezione alternativi, quali l'ipoclorito di sodio e i raggi ultravioletti (Tab. V).

Tab. IV - Costi di esercizio stimati per la disinfezione con acido peracetico

dosaggio di ac. peracetico	2 mg/l	4 mg/l	6 mg/l
costo del reattivo chimico £/m ³	24	48	72
costo globale di esercizio £/m ³	42	66	90

Tab. V - Costi di esercizio stimati per la disinfezione con ipoclorito di sodio e raggi U.V.

sistema di disinfezione	costo globale di esercizio (£/m ³)
ipoclorito di sodio (5mg/l Cl ₂)	25
ipoclorito di sodio (10mg/l Cl ₂)	31
raggi U.V.	33

La determinazione dei costi di esercizio della disinfezione tiene in considerazione quanto detto in precedenza. Le informazioni riguardanti il dosaggio di radiazione ultravioletta necessaria per il trattamento dell'acqua reflua del depuratore di Bosco (e quindi la potenza delle lampade) sono stati forniti dalle ditte costruttrici, mentre per quanto riguarda l'ipoclorito si è fatto riferimento agli intervalli di dosaggio normalmente utilizzati (PASSINO, 1983).

Il sistema più economico è quello che prevede l'impiego dell'ipoclorito di sodio, per il quale comunque sono da tenere presenti due aspetti negativi:

- formazione di sottoprodotti nocivi (organoalogenati);
- difficoltà nel rispetto del limite del cloro libero residuo ai dosaggi richiesti.

Per quanto concerne l'uso dei raggi ultravioletti si è fatto riferimento alla buona qualità dell'effluente in termini di solidi sospesi e torbidità.

Al fine di confrontare più in dettaglio le diverse soluzioni analizzate, si riportano nella Tab. VI i valori delle singole voci di costo.

Da tale quadro si evidenziano i seguenti aspetti:

- per l'acido peracetico incide negativamente il costo del prodotto chimico;
- per i sistemi con raggi ultravioletti hanno una certa incidenza i materiali, con particolare riferimento al cambio annuale delle lampade, e l'ammortamento tecnico dell'impianto conseguente ad un più oneroso investimento.

CONCLUSIONI

La sperimentazione effettuata ha messo in luce che il raggiungimento degli standard per lo scarico in acque superficiali è assicurato da un dosaggio di circa 2 mg/l in condizioni di normale funzionamento

Tab. VI - Ripartizione dei costi di disinfezione relativi ai tre sistemi analizzati

	ac. perac. 2 mg/l	NaClO 5 mg/l	U.V.
reattivi chimici £/m ³	24	7	-
energia elettrica £/m ³	1	1	5
materiali £/m ³	2	2	8
personale £/m ³	3	3	3
ammortamento tecnico £/m ³	12	12	17
TOTALE £/m³	42	25	33

dell'impianto studiato. A questi dosaggi non si osservano variazioni significative di pH e l'aumento di COD è compatibile con lo scarico. Inoltre l'eventuale residuo di disinfettante, visto il dosaggio contenuto, non dovrebbe comportare un aumento del rischio ambientale. Il modesto abbattimento dei coliformi totali misurato in corrispondenza di un alto valore di solidi sospesi sembra indicare una interferenza di questi ultimi sul processo di disinfezione, anche se la riduzione dell'efficienza di abbattimento dei coliformi totali e dei batteriofagi anti *E. coli* non è stata accompagnata da un simile comportamento degli altri indicatori batteriologici controllati. LEFEVRE *et al.* (1992) hanno peraltro verificato che l'acido peracetico può essere usato con risultati eccellenti anche in presenza di solidi sospesi (>100 mg/l); anche BUONAFEDE *et al.* (1991) riportano che la dinamica di abbattimento non risente dell'eventuale presenza di solidi sospesi.

MANDRA *et al.* (1996), invece, sottolineano come la filtrazione dell'effluente migliori sensibilmente la cinetica di disinfezione, incrementando il rendimento di abbattimento dei principali indicatori fecali di circa una unità logaritmica (U.L.).

Per il rispetto dei limiti delle acque di balneazione, invece, sembra necessario raggiungere dosaggi di 6 mg/l. Con questi dosaggi, però, può risultare non indifferente l'apporto di sostanza organica al refluo trattato; infatti l'incremento teorico che ne deriverebbe (circa 18 mg/l di COD) può essere letto anche come un incremento di entità simile in termini di BOD₅, essendo le sostanze organiche aggiunte costituite da acido acetico e quindi da sostanze rapidamente biodegradabili. Chiaramente si tratta di un apporto organico difficilmente sopportabile in previsione del limite di BOD₅ di 25 mg/l imposto dalla nuova Direttiva CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane (271/91CEE).

Per quanto riguarda l'efficacia dell'acido peracetico i risultati ottenuti in questa sperimentazione sono abbastanza in linea con quanto ottenuto da altri Autori.

LEFEVRE *et al.* (1992) hanno misurato abbattimenti di circa 2 U.L. di coliformi fecali e streptococchi fecali con dosaggi di PAA di circa 5-6 mg/l e tempi di contatto di 30', in accordo con quanto verificato nelle nostre prove in campo (abbattimento medio

coliformi fecali 98%; abbattimento medio streptococchi fecali 96%). Anche BUONAFEDE *et al.* (1991) hanno ottenuto, con un reattore pilota che garantiva un tempo di contatto di 25', abbattimenti di circa 2 U.L. di coliformi e streptococchi con un dosaggio di 6 mg/l; nelle prove industriali, però, i risultati sono stati migliori raggiungendo anche 3-4 unità logaritmiche con tempi di residenza di soli 12'. Un abbattimento di 2 U.L. è stato ottenuto da CAVADORE *et al.* (1993) con uguali tempi di residenza ma con dosaggi di 1,3 mg/l senza effettuare alcuna filtrazione dell'effluente.

MANDRA *et al.* (1996) hanno ottenuto, invece, abbattimenti di 3 U.L. di coliformi fecali con dosaggi di 5 mg/l e tempi di contatto di 30'.

Analizzando congiuntamente le prestazioni otte-

nute ed i costi, per cercare di effettuare un bilancio costi-benefici, si può affermare che già gli attuali limiti vigenti sulle acque di scarico comportano degli oneri abbastanza elevati.

Per il raggiungimento di questi standard, comunque, l'acido peracetico può essere considerato un disinfettante adeguato, in quanto non causa formazione di sottoprodotti e allo stesso tempo non risente dei fenomeni di fotoriattivazione enzimatica (riaggiustamento del danno genetico che avviene in presenza di luce nel campo del visibile) segnalati a carico della disinfezione con raggi U.V..

Adottando limiti più severi, come ad esempio quelli indicati per il riuso irriguo, l'impiego dell'acido peracetico potrebbe, invece, risultare economicamente non compatibile con gli attuali livelli tariffari.

Bibliografia

- ANDREOTTOLA G., BERTOLA P., ZIGLIO G., 1996. Indagine sperimentale comparata sulla disinfezione di acque reflue urbane con ozono e acido peracetico. *Ingegneria ambientale*, **25**: 200-206.
- BALDRY M.G.C., FRENCH M.S., 1990. Disinfection of municipal wastewater with peracetic acid: the English experience. *Eau Industrie* **137**: 42-44.
- BALDRY M.G.C., FRENCH M.S., 1991. The activity of Peracetic Acid on Sewage Indicator Bacteria and Viruses. *Wat. Sci. Tech* **24**:353-357.
- BUONAFEDE R., PUZZARINI P., PIROLA F., 1991. Disinfezione delle acque reflue con acido peracetico e loro riutilizzo in fertirrigazione. In Atti del Convegno Acque reflue e fanghi, Milano: 154 - 171.
- CAVADORE A., MASSA G., BIENTINESI P., 1993. La disinfezione delle acque di scarico dell'impianto di depurazione di Cesenatico. *Inquinamento* **3**: 74-77.
- FARNETI A., ANGELUCCI F., BARBARESI U. E DELL'ONTE P., 1992. Igienizzazione di acque di scarico umane depurate ai fini del loro utilizzo agronomico. In Atti del Convegno Acque reflue e fanghi, Milano: 140-153.
- IRSA-CNR. Metodi analitici per le acque: 318-327.
- LECLERC H., 1990. Indicateurs bacteriens et controle de qualité des eaux minerales naturelles. *Rivista Italiana d'Igiene* **5-6**: 67-74.
- LEFEVRE F., AUDIC J. M., FERRAND F., 1992. Peracetic acid disinfection of secondary effluents discharged off coastal seawater. *Wat. Sci. Tech.* **25**: 155- 164.
- MANDRA V., LAZAROVA V., DUMONTIER N., AUDIC J.M., 1996. Etude comparative de la desinfection des eaux residuales urbaines par l'acide peracetique, l'irradiation UV et l'ozone. In Eaux Residuales Urbaines Conference n° 61, Paris.
- PARROTTA M.J., BEKDASH F., 1998. UV disinfection of small groundwater supplies. *Journal A.W.W.A.*, **2**: 71 - 81.
- PASSINO R., 1983. La conduzione degli impianti di depurazione delle acque di scarico. Ed. Scientifiche A. Cremonese, Roma.
- PUZZARINI P., 1997. Esperienze di disinfezione presso l'impianto di Cervia. In Atti del Convegno Scientifico Depurazione e disinfezione delle acque - L'acido peracetico e la balneabilità, Ispra: 86-96.
- SPAGGIARI R., BASSOLI M., CARLETTI C., FOLLONI G. E FRANZONI C., 1991. Valutazione di indicatori microbici in un impianto di depurazione comunale. In Biological Approach to sewage treatment process: current status and perspectives, P. Madoni ed.: 131-134.
- VILLA L., OTTAVIANI M., 1993. Caratteristiche microbiologiche delle acque reflue civili, problemi igienici. Necessità di un approccio integrato. In Atti del Convegno Acque reflue e fanghi, Milano: 19-28.