

## Capitolo 3

### CONFRONTO TRA LE TECNICHE DI DISINFEZIONE

#### 3.1 – DIOSSIDO DI CLORO E IPOCLORITO DI SODIO

Per confrontare l'efficienza dei trattamenti di disinfezione con diossido di cloro e ipoclorito di sodio sono stati prelevati ed analizzati campioni di acque provenienti da due impianti di depurazione lombardi ciascuno avente una diversa potenzialità ma dalla struttura simile che prevede, tra l'altro, un sedimentatore primario, un letto biologico, un sedimentatore secondario ed una linea fanghi.

Si è determinato il carico batterico alla fine della fase di depurazione chimico-fisica, pre e post disinfezione che è stata eseguita con diossido ed ipoclorito a diverse concentrazioni; è stata, inoltre, valutata la quantità di sottoprodotti tossici eventualmente generati dal processo. A temperatura ambiente e con contenuta agitazione, il tempo di contatto è stato di 60 min. anche se empiricamente dimostrato che la disinfezione realizzava la massima inattivazione dei microrganismi dopo circa 30 min. È la decisione di condurre il test in condizioni conservative che ha portato alla scelta di un tempo maggiore per permettere la completa formazione dei prodotti clorurati.

Le tabelle (42→ 45) ed i grafici seguenti (14→ 17), riportano i valori dei parametri analizzati con riferimento al campione n.3 per l'impianto A ed a quello n.1 per l'impianto B (**A.O.X.**, Adsorbable Organic Halogens; **P.O.X.**, Purgeable Organic Halogens; **T.O.X.**, Total Organic Halogens: A.O.X. + P.O.X.).

Saggio	ClO <sub>2</sub> [mg/l]	Coliformi totali MPN/100ml	Coliformi fecali MPN/100ml	Streptococchi fecali MPN/100ml	A.O.X. [ppb Cl]	P.O.X. [ppb Cl]	T.O.X. [ppb Cl]	CHCl <sub>3</sub> [μg/l]
Tal quale		2.3 10 <sup>4</sup>	9.0 10 <sup>3</sup>	4.0 10 <sup>3</sup>	29.4	4.3	33.7	0.0
1	1.7	430	40	430	31.6	4.7	36.3	0.0
	2.5	430	<30	40	31.9	6.3	38.2	2.7
	3.7	70	40	40	33.4	9.1	42.5	2.7
Tal quale		1.5 10 <sup>5</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	32.3	4.0	36.3	0.0
2	2.7	460	11	240	41.1	5.2	46.3	0.0
	4.0	23	4	23	45.5	5.4	50.9	0.0
	5.9	23	9	23	52.6	6.0	58.6	0.0
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	4.0 10 <sup>3</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	22.5	5.0	27.5	0.0
3	0.7	4.6 10 <sup>3</sup>	150	4.0 10 <sup>3</sup>	29.8	15.1	44.9	0.0
	1.4	460	43	460	32.9	15.6	48.5	0.0
	1.8	210	7	240	48.7	14.9	63.6	2.3

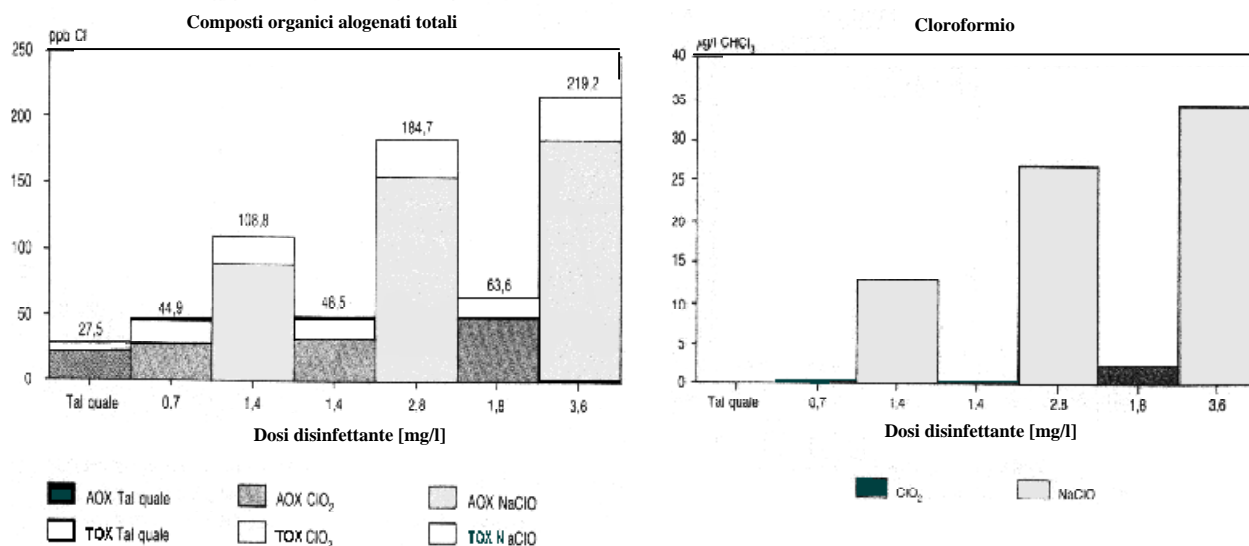
**Tab. 42:** Campioni dell'impianto A. Trattamento con ClO<sub>2</sub>.

Fonte: S. Monarca, G. Nardi, D. Ferretti, F. Dorè, A. Francescani, M. Grotto: "Uso del biossido di cloro nella disinfezione delle acque reflue di depuratori civili". Inquinamento, n. 6, pag. 122-128, Giugno 1991.

Saggio	NaClO [mg/l]	Coliformi totali MPN/100ml	Coliformi fecali MPN/100ml	Streptococchi fecali MPN/100ml	A.O.X. [ppb Cl]	P.O.X. [ppb Cl]	T.O.X. [ppb Cl]	CHCl <sub>3</sub> [µg/l]
Tal quale		2.3 10 <sup>4</sup>	9.0 10 <sup>3</sup>	4.0 10 <sup>3</sup>	29.4	4.3	33.7	0.0
1	5.1	40	<30	<30	192.4	30.9	223.3	31.0
	7.5	90	40	<30	208.0	35.3	243.3	38.8
	11.1	<30	<30	<30	222.0	44.1	266.1	42.6
Tal quale		1.5 10 <sup>5</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	32.3	4.0	36.3	0.0
2	8.0	15	4	9	332.0	40.1	372.1	51.7
	12.0	<3	<3	43	376.0	41.2	417.2	53.9
	17.6	<3	<3	<3	383.0	52.5	435.5	61.5
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	4.0 10 <sup>3</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	22.5	5.0	27.5	0.0
3	1.4	1.1 10 <sup>3</sup>	9	93	92.1	16.7	108.8	12.6
	2.8	460	9	93	156.0	28.7	184.7	26.7
	3.6	23	9	93	186.3	32.9	219.2	34.1

**Tab. 43:** Campioni dell'impianto A. Trattamento con NaClO

Fonte: S. Monarca, G. Nardi, D. Ferretti, F. Dorè, A. Francescani, M. Grotto: "Uso del biossido di cloro nella disinfezione delle acque reflue di depuratori civili". Inquinamento, n. 6, pag. 122-128, Giugno 1991.



**Figg. 14/15:** Impianto A. Campione 3.

Fonte: S. Monarca, G. Nardi, D. Ferretti, F. Dorè, A. Francescani, M. Grotto: "Uso del biossido di cloro nella disinfezione delle acque reflue di depuratori civili". Inquinamento, n. 6, pag. 122-128, Giugno 1991-Modificato.

Saggio	ClO <sub>2</sub> [mg/l]	Coliformi totali MPN/100ml	Coliformi fecali MPN/100ml	Streptococchi fecali MPN/100ml	A.O.X. [ppb Cl]	P.O.X. [ppb Cl]	T.O.X. [ppb Cl]	CHCl <sub>3</sub> [μg/l]
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	9.3 10 <sup>4</sup>	6.3	3.1	9.4	0.0
1	1.0	240	78	240	10.8	4.0	14.8	0.0
	2.0	23	9	43	12.1	5.9	18.0	0.0
	2.5	<3	<3	23	12.4	9.2	21.6	0.0
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	9.0 10 <sup>3</sup>	2.3 10 <sup>4</sup>	11.0	1.4	12.4	0.0
2	1.4	23	<3	9	13.3	1.9	15.2	0.0
	2.1	<3	<3	4	16.2	2.2	18.4	0.0
	3.2	<3	<3	<3	17.3	3.8	20.8	0.0
Tal quale		2.4 10 <sup>5</sup>	2.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	17.7	3.5	21.2	0.0
3	0.6	750	140	2.4 10 <sup>3</sup>	29.7	4.3	34.0	0.0
	1.2	43	43	3	26.3	5.9	32.2	0.0
	1.5	9	<3	<3	19.9	18.8	38.6	0.0

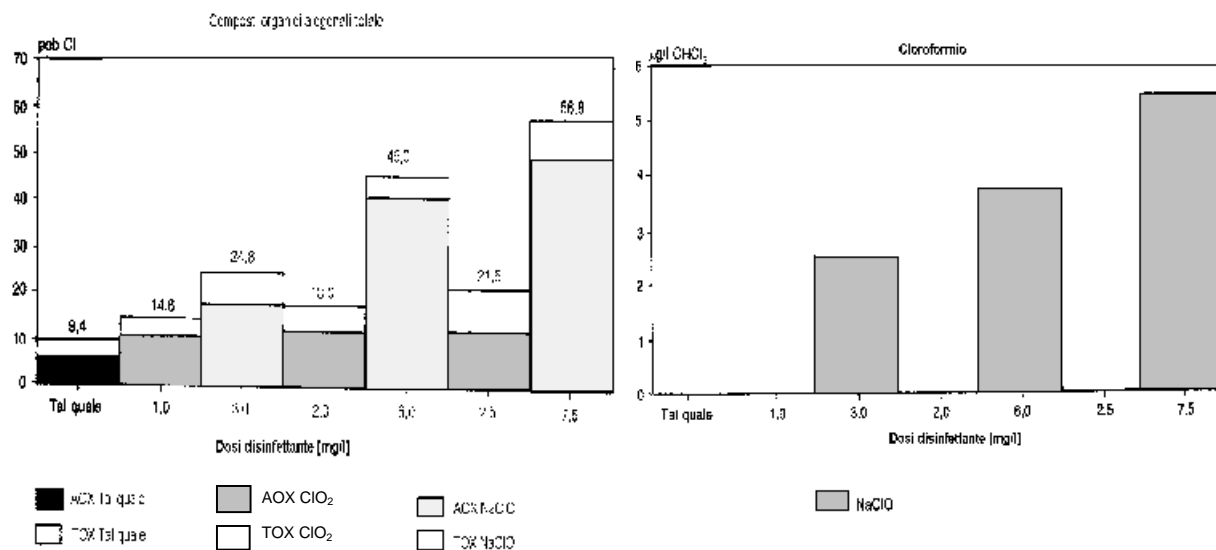
**Tab. 44:** Campioni dell'impianto B. Trattamento con ClO<sub>2</sub>.

Fonte: S. Monarca, G. Nardi, D. Ferretti, F. Dorè, A. Francescani, M. Grotto: "Uso del biossido di cloro nella disinfezione delle acque reflue di depuratori civili". Inquinamento, n. 6, pag. 122-128, Giugno 1991.

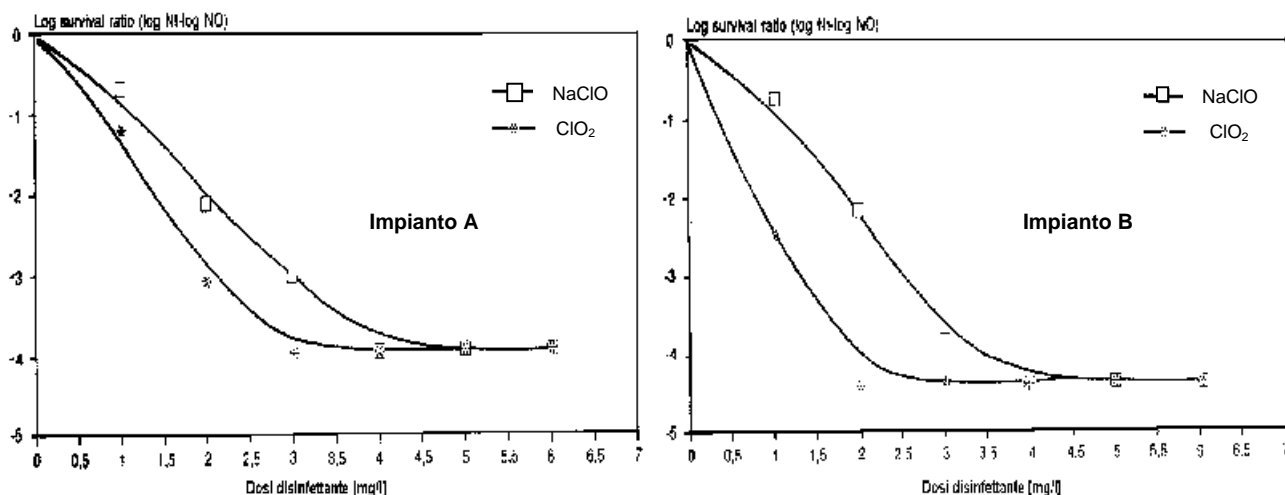
Saggio	NaClO [mg/l]	Coliformi totali MPN/100ml	Coliformi fecali MPN/100ml	Streptococchi fecali MPN/100ml	A.O.X. [ppb Cl]	P.O.X. [ppb Cl]	T.O.X. [ppb Cl]	CHCl <sub>3</sub> [μg/l]
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	9.3 10 <sup>4</sup>	6.3	3.1	9.4	0.0
1	3.0	<3	<3	23	17.4	7.4	24.8	2.2
	6.0	<3	<3	15	41.0	5.0	46.0	3.7
	7.5	<3	<3	9	49.5	9.3	58.8	5.4
Tal quale		4.3 10 <sup>4</sup>	9.0 10 <sup>3</sup>	2.3 10 <sup>4</sup>	11.0	1.4	12.4	0.0
2	4.2	4.	4	9	18.4	4.1	22.5	8.2
	6.3	<3	<3	<3	22.9	4.4	27.3	9.3
	9.6	<3	<3	<3	27.3	5.0	32.3	9.2
Tal quale		2.4 10 <sup>5</sup>	2.3 10 <sup>4</sup>	4.3 10 <sup>4</sup>	17.7	3.5	21.2	0.0
3	1.2	<3	<3	93	17.8	11.7	29.5	1.5
	2.4	<3	<3	43	21.7	7.0	28.7	2.5
	3.0	<3	<3	43	23.8	6.3	30.1	3.2

**Tab. 45:** Campioni dell'impianto B. Trattamento con NaClO.

Fonte: S. Monarca, G. Nardi, D. Ferretti, F. Dorè, A. Francescani, M. Grotto: "Uso del biossido di cloro nella disinfezione delle acque reflue di depuratori civili". Inquinamento, n. 6, pag. 122-128, Giugno 1991.



Dall'esame dei dati risulta un'evidente riduzione della formazione dei composti alogenati ed una maggiore efficacia della disinfezione nel caso dell'impiego di biossido così come rilevabile dai seguenti grafici.



In definitiva, l'impiego del biossido in alternativa all'ipoclorito di sodio presenta diversi vantaggi:

- In confronto all'ipoclorito di sodio, non presenta problemi di formazione di composti organo-alogenati;
- A differenza dell'ipoclorito, il biossido non dà origine a reazioni con l'ammoniaca: ciò evita, in presenza di alte concentrazioni di ioni ammonio, l'elevato consumo di reagente

dovuto alla formazione di cloroammine (il cui potere disinfettante, come detto nel paragrafo 2.1, è notevolmente inferiore a quello dello stesso ipoclorito).

- A differenza dell'ipoclorito e dei relativi derivati, il potere ossidante e disinfettante del biossido non è influenzato da possibili variazioni del pH in quanto, nell'intervallo pH 6÷9, la sua azione battericida resta pressoché costante;
- Un'ulteriore differenza tra i due reagenti riguarda, infine, i tempi di reazione: i processi di disinfezione nei quali s'impiega biossido di cloro necessitano di tempi di contatto che sono circa la metà rispetto a quelli nei quali s'impiega l'ipoclorito.

### 3.2 - ACIDO PERACETICO E DIOSSIDO DI CLORO

Per confrontare l'efficienza dei trattamenti di disinfezione con diossido di cloro e acido peracetico sono stati prelevati ed analizzati campioni d'acque provenienti dall'impianto di depurazione della città di Bologna e trattati con i due reagenti.

I tempi di permanenza sono stati di circa 20 min. e sono stati misurati i parametri microbiologici standard rivelatori d'inquinamento fecale oltre che la presenza di NO<sub>2</sub>-N e di NO<sub>3</sub>-N.

Saggio	Dosaggio ClO <sub>2</sub> [mg/l]	Dosaggio PAA [mg/l]	Coliformi totali u.f.c./100ml	Coliformi fecali u.f.c./100ml	Streptococchi totali u.f.c./100ml	PH	COD [mg/l]	SST [mg/l]	NO <sub>2</sub> - N [mg/l]	NO <sub>3</sub> - N [mg/l]
Tal Quale			700.000	110.000	20.000	6.78	68.2	9	4.7	
	1.69		360.000	30.000	10.000				5.0	
		1.41	1.200	600	400				3	
Tal Quale			500.000	100.000	8.000	6.84	69.4	13		
	1.97		130.000	20.000	6.000				5.7	
		1.76	300	15	180				5.4	
Tal Quale			200.000	30.000	3.000	6.87	46.7	10	5.5	4.3
	2.89		120.000	20.000					5.7	4.3
		2.2	500	40	30				5.4	4.2
Tal Quale			250.000	10.000	8.000	6.94	36.7	9		
	3.11		120.000		3.000					4.6
		1.82	500	200	50					4.9
Tal Quale			140.000	19.000	400	6.62	N.D.	11		0.0
	3.6			50	1	6.44				0.0
		0.957	3.000	200	300	6.43				0.0
Tal Quale			80.000	10.000	2.000	6.98	28.5	39		0.0
	3.6		4.000	40	3	6.5				0.0
		0.98	4.000	300	600	6.57				0.0
Tal Quale			200.000	60.000	4.200	6.95	42.96	13		
	4.27									3.8
		2.28	200	10	10					4.9

**Tab. 46:** Caratteristiche del liquame pre o post disinfezione.

Fonte: M.L. Mancini, M. Sorrentino: "Sperimentazione di tecniche di disinfezione mediante biossido di cloro e acido peracetico applicate alle acque reflue dell'impianto di trattamento della città di Bologna". Ingegneria Ambientale, vol. XXIX, Gennaio 2000.

Un interessante sottoprodotto di tale ricerca, compiuta tra i mesi di Giugno e Luglio, è l'aver verificato una notevole variabilità stagionale del carico batterico presente nelle acque reflue urbane. Dopo la seconda settimana di Luglio, a seguito della riduzione della

popolazione residente, le acque bianche che giungono all'impianto comportano una notevole diluizione dei microrganismi presenti nell'influente di cui si dovrà tener conto nella gestione dell'impianto di disinfezione.

	<b>Valore medio durante la sperimentazione in Giugno (u.f.c./100ml)</b>	<b>Valore medio durante la sperimentazione in Luglio (u.f.c./100ml)</b>
Coliformi totali	315.000	80.000
Coliformi fecali	65.000	13.000
Streptococchi fecali	7.500	1.500

**Tab. 47:** Valore medio degli indicatori microbiologici in ingresso alla vasca di disinfezione.

Fonte: M.L. Mancini, M. Sorrentino: "Sperimentazione di tecniche di disinfezione mediante biossido di cloro e acido peracetico applicate alle acque reflue dell'impianto di trattamento della città di Bologna". Ingegneria Ambientale, vol. XXIX, Gennaio 2000.

Tornando al confronto tra l'efficacia della disinfezione condotta con acido peracetico e con diossido di cloro, i risultati sono riportati nelle figg. 20, 21 e 22 per la cui realizzazione si è ricorsi ad un modello d'interpolazione del tipo:

$$\log N_0/N_t = k_a \cdot \exp(k_b \cdot C_a \cdot t_c)$$

dove:

$N_0$  = carica batterica iniziale al tempo "t<sub>0</sub>" (in 100ml di refluo grezzo);

$N_t$  = carica batterica finale al tempo "t" (in 100ml di refluo disinfettato);

$C_a$  = concentrazione attiva del disinfettante al tempo "t";

$t_c$  = tempo di contatto (min.);

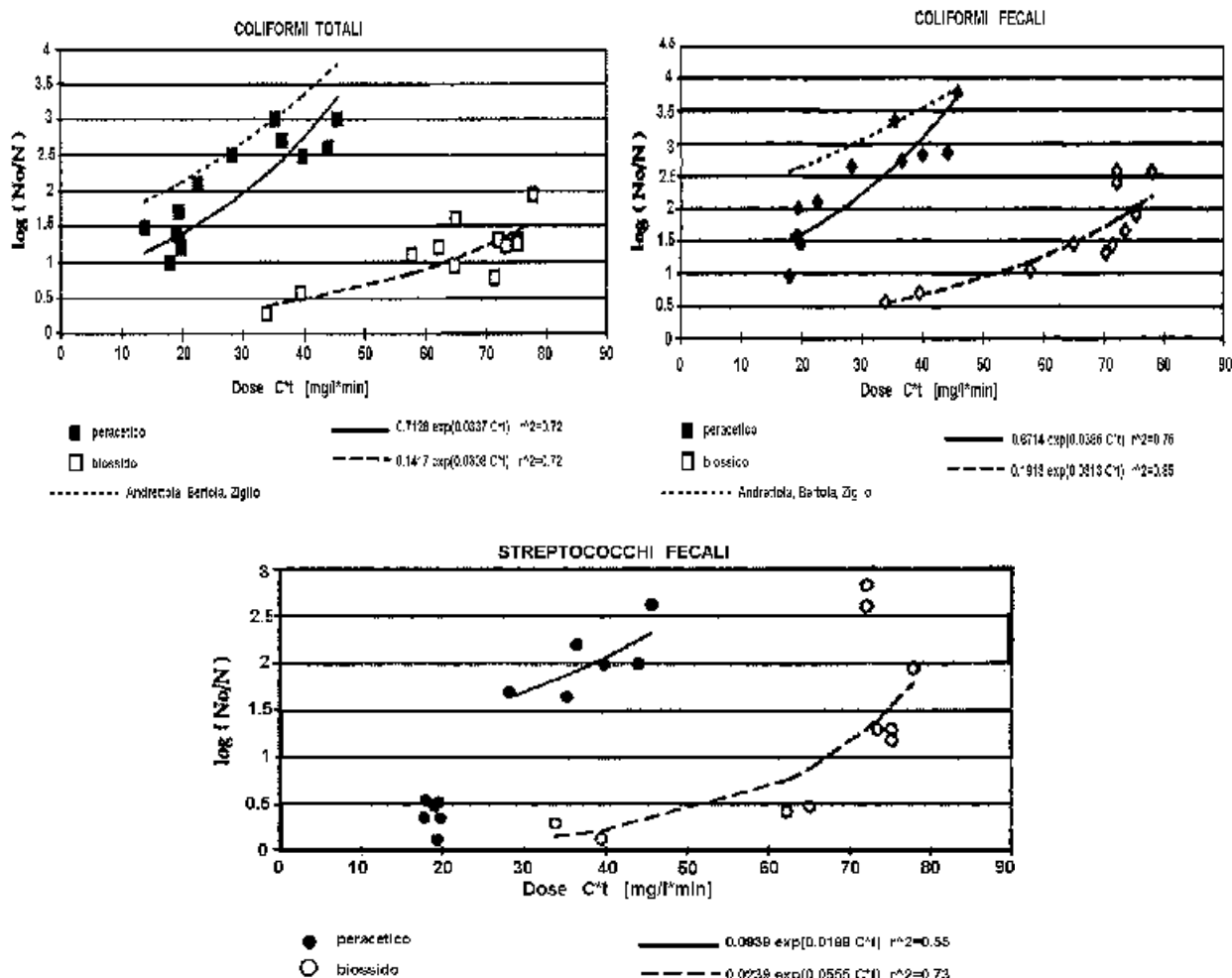
con  $k_b$  e  $k_a$  costanti.

I grafici mostrano l'andamento degli  $x \log$  d'abbattimento di Coliformi e Streptococchi evidenziando, per i Coliformi, un diverso andamento in base alla carica batterica presente nel refluo grezzo in ingresso alla vasca di trattamento. Per bassi valori si nota solo un modesto abbattimento (curva relativa al PAA) e ciò in accordo con quanto riportato da Andrettola, Bertola e Ziglio che, in analoghe condizioni, verificarono una riduzione dei batteri presenti molto modesta e ciò indipendentemente dalla concentrazione di disinfettante. Si può inoltre notare un diverso andamento dei punti sperimentali sempre secondo la carica batterica presente nel liquame non trattato: per valori < 250.000 cfu/100ml i punti giacciono al di sotto della curva, per valori compresi tra 250.000 e 700.000 cfu/100ml i punti quasi s'allineano al di sopra di essa.

L'acido peracetico ha dato prova d'essere più efficace del biossido di cloro nell'abbattere la carica batterica presente nei reflui. Nel caso in esame ciò potrebbe essere spiegato considerando che in presenza di solidi sospesi (12÷15 mg/l) parte del biossido non riesce ad espletare l'azione disinfettante in quanto impiegato nell'ossidazione dei composti organici, mentre il PAA sembrerebbe avere un'efficacia di rimozione dei batteri indipendente dalla concentrazione dei solidi sospesi (Lefevre F. et al. che hanno individuato una buona efficacia dell'acido peracetico fino a concentrazioni di solidi sospesi intorno a 100 mg/l).

Per quanto attiene gli Streptococchi, dal grafico risulta che l'efficacia dell'azione disinfettante sia del PAA, sia del  $\text{ClO}_2$ , a parità di concentrazione, è inferiore a quanto visto per i Coliformi.

Agli Streptococchi sono applicabili le stesse considerazioni fatte per i Coliformi in merito agli effetti della presenza di solidi sospesi con la differenza che, essendo il biossido particolarmente attivo nei confronti degli Streptococchi, il risparmio realizzabile usando l'acido peracetico in vece del  $\text{ClO}_2$ , è inferiore rispetto al caso dei Coliformi.



**Figg. 20-21-22:** Confronto tra gli x log d'abbattimento della carica batterica con PAA e con  $\text{ClO}_2$ .

Fonte: M.L. Mancini, M. Sorrentino: "Sperimentazione di tecniche di disinfezione mediante biossido di cloro e acido peracetico applicate alle acque reflue dell'impianto di trattamento della città di Bologna". Ingegneria Ambientale, vol. XXIX, Gennaio 2000.

Dai grafici seguenti si può notare che i modelli cinetici che esprimono bene la velocità di scomparsa dei microrganismi nella disinfezione delle acque reflue con acido peracetico, sono la legge di Chick-Watson ottenuta partendo dalla relazione di Chick [cfr. par. 2 (n°1)] considerando che in essa non vi è dipendenza esplicita dalla concentrazione di disinfettante e



che solo pochissimi disinfettanti hanno comportamento lineare - praticamente i soli raggi UV - ed il modello di Sellek-Saunier-Collins [cfr. par. 2 (n°4)].

$$\ln N_t/N_0 = -c_1 \cdot C_a^n \cdot t_c^m \quad \text{modello di Chick-Watson}$$

dove:

$N_0$  = carica batterica iniziale al tempo “ $t_0$ ” (in 100ml di refluo grezzo);

$N_t$  = carica batterica finale al tempo “ $t$ ” (in 100ml di refluo disinfettato);

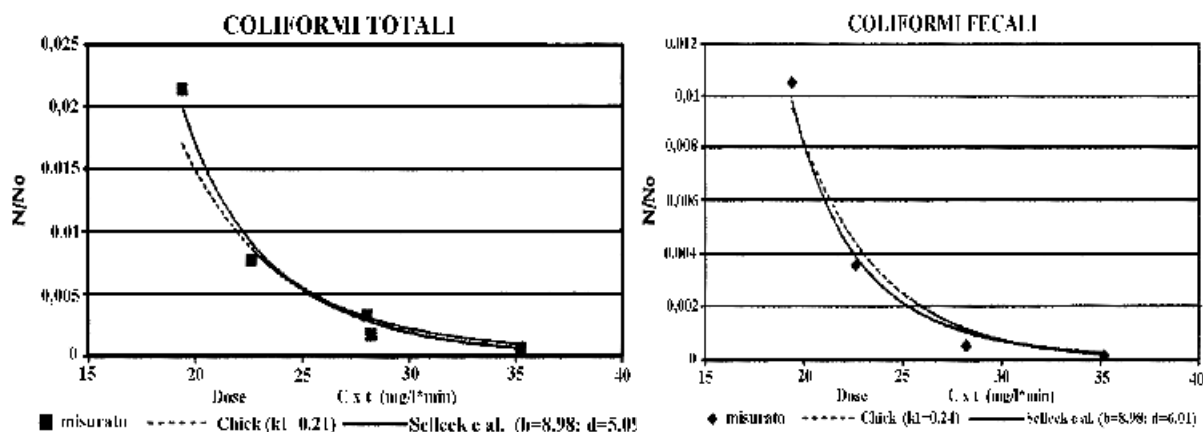
$C_a$  = concentrazione attiva del disinfettante al tempo “ $t$ ”;

$t_c$  = tempo di contatto (min.);

$c_1$  = coefficiente di letalità.

Considerando pari ad 1 gli esponenti “ $n$ ” ed “ $m$ ”, il valore del coefficiente  $c_1$  è stato valutato per i Coliformi totali ed i Coliformi fecali graficando il rapporto  $N_t/N_0$  in funzione della dose  $C \cdot t$  ed effettuando una regressione che considerasse una volta l’equazione di Chick-Watson ed un’altra l’equazione di Sellek (M.L. Mancini, M. Sorrentino: Ing. Amb., Gennaio 2000):

- Coliformi totali:  
 $c_1 = 0.21$  (Chick);  
 $b = 8.98$ ;  $n = 5.09$  (Sellek, Collins, Saunier);
- Coliformi fecali:  
 $c_1 = 0.24$  (Chick);  
 $b = 8.98$ ;  $n = 6.01$  (Sellek, Collins, Saunier).



**Figg. 23/24:** Curve rappresentative dell'andamento dell'abbattimento dei coliformi eseguito tramite trattamento con PAA (carica batterica compresa tra 250000 e 750000 cfu/100ml; range di concentrazione del reagente 0.97÷1.96 mg/l).

Fonte: M.L. Mancini, M. Sorrentino: “Sperimentazione di tecniche di disinfezione mediante biossido di cloro e acido peracetico applicate alle acque reflue dell'impianto di trattamento della città di Bologna”. Ingegneria Ambientale, vol. XXIX, Gennaio 2000.

In conclusione si può affermare che le prove effettuate sui campioni di reflui provenienti dall'impianto di trattamento di Bologna hanno dimostrato una buona efficienza della

disinfezione condotta con l'impiego di acido peracetico. In particolare, nel caso di liquami in cui siano presenti solidi sospesi, il trattamento con PAA sembrerebbe preferibile a quello con biossido di cloro.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.