

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Acque di riuso: aspetti sanitari e tecnici
correlati alla presenza di patogeni enterici**

Claudia Cataldo, Rossella Briancesco, Lucia Bonadonna

Laboratorio di Igiene Ambientale

ISSN 1123-3117

Rapporti ISTISAN

01/34

Istituto Superiore di Sanità

Acque di riuso: aspetti sanitari e tecnici correlati alla presenza di patogeni enterici.

Claudia Cataldo, Rossella Briancesco, Lucia Bonadonna

2001, 38 p. Rapporti ISTISAN 01/34

Vengono presentati i risultati di analisi microbiologiche ricavati da un'indagine svolta presso un impianto di depurazione di acque reflue che ha la potenzialità di riutilizzare gli effluenti a scopo irriguo. È stata quindi effettuata la valutazione dell'efficienza delle diverse fasi di trattamento nei confronti di microrganismi patogeni e non patogeni, con particolare riguardo ai protozoi *Cryptosporidium* e *Giardia*, verificando anche le eventuali loro correlazioni. Le diverse fasi di trattamento hanno mostrato un'elevata efficienza di rimozione per la gran parte dei gruppi microbici considerati. Scarsa capacità di abbattimento delle concentrazioni è stata invece evidenziata per quanto riguarda *Giardia* e *Cryptosporidium* anche quando la fase del processo comprendeva un trattamento con raggi ultravioletti.

Parole chiave: Acque di riuso, Acque reflue, *Cryptosporidium*, *Giardia*, Trattamenti di depurazione, Irraggiamento con raggi ultravioletti

Istituto Superiore di Sanità

Water re-use: hygienic and technical aspects related to the occurrence of enteric pathogens.

Claudia Cataldo, Rossella Briancesco, Lucia Bonadonna

2001, 38 p. Rapporti ISTISAN 01/34 (in Italian)

An investigation on the occurrence of bacterial indicators, enteric pathogens and protozoa, such as *Cryptosporidium* and *Giardia*, was carried out at a wastewater treatment plant that treated sewage for a potential re-use in agriculture activities. The aim was to evaluate possible reciprocal correlation and to compare reduction percentages after chlorination and ultraviolet light treatments. The data obtained confirmed the good removal efficiency of the entire process for all the bacterial indicators but also showed the low and variable removal efficiency for clostridia, *Cryptosporidium* and *Giardia*. For these latter organisms a low removal efficiency was observed even when the process was carried out by ultraviolet rays.

Key words: *Cryptosporidium*, *Giardia*, Water re-use, Ultraviolet light, Treatment, Wastewater

Si ringraziano i dirigenti della Sanità Aerea e i responsabili e i tecnici dell'impianto di trattamento di acque reflue degli Aeroporti di Roma per la cortese collaborazione e disponibilità.

Si ringrazia Colin R. Fricker per gli utili suggerimenti forniti nel corso dell'indagine.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it/pubblicazioni.

INDICE

Introduzione	1
1. Trattamento delle acque reflue	3
2. <i>Giardia intestinalis</i> e <i>Cryptosporidium parvum</i> e loro distribuzione nell'ambiente	6
2.1. <i>Giardia</i> : descrizione generale e ciclo biologico.....	5
2.2. <i>Cryptosporidium</i> : descrizione generale e ciclo biologico	6
2.3. Correlazioni tra <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> e gli indicatori di qualità delle acque	6
2.4. Efficacia dei trattamenti di disinfezione nella riduzione delle cisti di <i>Giardia</i> e delle oocisti di <i>Cryptosporidium</i>	7
3. Materiali e metodi	8
3.1. Schema dell'impianto di depurazione dell'Aeroporto di Fiumicino	8
3.2. Metodo per il rilevamento di cisti e oocisti di protozoi patogeni nelle acque.....	9
4. Risultati	11
4.1. Andamento dei processi di rimozione microbica e parassitologica nell'impianto di depurazione	11
4.2. Percentuali di abbattimento del carico microbico e parassitologico nel corso del processo di trattamento	13
4.3. Correlazioni	14
4.4. Presenza di <i>Vibrio</i> spp. e <i>Salmonella</i> spp. nei reflui trattati.....	15
5. Discussione	17
Conclusioni	19
Bibliografia	21
Appendice A Schema del processo di depurazione.....	23
Appendice B Tabelle degli abbattimenti.....	27
Appendice C Tabelle delle correlazioni.....	35

INTRODUZIONE

Le indagini di controllo sulla qualità ambientale, a garanzia della tutela della salute pubblica, sono effettuate sulla base di normative comunitarie e nazionali all'interno delle quali vengono stabiliti obiettivi di qualità, parametri e valori limite. Nelle normative di più stretto carattere sanitario, la qualità dell'acqua viene valutata sulla base di un sistema di controllo integrato che prevede la determinazione di parametri microbiologici, chimici e chimico-fisici, nonché la rispondenza a determinati requisiti di qualità.

Per quanto riguarda i parametri microbiologici vengono presi fundamentalmente in considerazione organismi e gruppi di organismi correlati direttamente al livello di fecalizzazione dell'acqua, i coliformi e gli streptococchi, tradizionalmente considerati indicatori della presenza di patogeni enterici diffusi attraverso il ciclo fecale-orale.

È tuttavia noto che gli indicatori batterici di contaminazione fecale non sono in grado di segnalare l'eventuale presenza di patogeni a trasmissione diversa da quella fecale e di patogeni, quali virus, protozoi e parassiti, che, particolarmente resistenti alle condizioni ambientali ostili e ai trattamenti di depurazione e potabilizzazione delle acque, sono in grado di sopravvivere più a lungo nell'ambiente.

Per prevedere il rischio reale che si corre utilizzando un'acqua sarebbe quindi opportuno ricercare i patogeni presenti in essa; la loro ricerca non è però praticabile di routine, sia per la impossibilità di ricercare tutti i patogeni presenti, sia per i limiti dei tradizionali, e ancora più comunemente usati, metodi analitici che non permettono di rilevarli con facilità ed efficienza.

C'è tuttavia un certo numero di casi in cui esiste la necessità di ricercare direttamente i patogeni nelle acque. È il caso, ad esempio, dello svolgimento di studi epidemiologici mirati ad individuare uno specifico agente responsabile del diffondersi di un'infezione; della verifica di eventuali correlazioni tra densità degli indicatori e concentrazioni di determinati patogeni, relazioni utili per la determinazione di standard di qualità; di situazioni in cui è necessario chiarire il significato sanitario di elevate concentrazioni di indicatori. È anche il caso in cui sia necessario effettuare controlli dell'efficienza dei processi di trattamento delle acque, verificando la capacità di abbattimento e rimozione di patogeni, misura di importanza rilevante qualora gli effluenti trattati vengano poi destinati al riuso, modalità che può rappresentare una opzione estremamente valida dal punto di vista ambientale, a condizione che siano adottati standard di qualità elevati, puntando l'attenzione soprattutto su quei parametri che esibiscono caratteristiche di diffusione/persistenza, sinergia e bioaccumulo.

Le acque reflue costituiscono fonte di diffusione di microrganismi patogeni e non patogeni nell'ambiente. Le diverse specie microbiche e le relative concentrazioni sono legate alle situazioni epidemiologiche locali e ai livelli di depurazione cui vengono sottoposti i liquami prima della loro immissione nei corpi idrici recettori e del loro eventuale reimpiego. Particolare interesse deve essere quindi rivolto a quei microrganismi che presentano una particolare resistenza ai processi di trattamento delle acque.

In questo contesto è stato quindi svolto lo studio di seguito descritto, sviluppato per la verifica della possibilità di avviare al riutilizzo per scopo agricolo gli effluenti di un impianto di trattamento di acque reflue. Per questo motivo è stata effettuata la valutazione dell'efficienza di depurazione nei confronti di diversi microrganismi, con particolare riguardo ai parassiti *Giardia* e *Cryptosporidium*, agenti eziologici di patologie a carattere gastroenterico. Sono pertanto state effettuate determinazioni quantitative, procedendo anche al calcolo dell'eventuale esistenza di correlazioni, sia degli indicatori ortodossi di contaminazione fecale, sia di specifici patogeni

batterici e dei due protozoi parassiti che, trasmessi attraverso forme infettive di resistenza, hanno particolari capacità di sopravvivenza, mantenimento e diffusione nell'ambiente.

Lo studio è stato effettuato presso l'impianto di trattamento di acque reflue presso l'Aeroporto di Roma "Leonardo da Vinci" e i controlli sono stati eseguiti dal gennaio 2000 al gennaio 2001.

1. TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Con il termine “refluo” si intende un’acqua che, dopo essere stata utilizzata in diversi processi e/o attività (industriali, civili, agricole, ecc.), ha perduto le caratteristiche originarie, divenendo inidonea a un utilizzo diretto.

Le acque reflue contengono numerose sostanze in grado di rappresentare un rischio per la salute umana (1). Per questo motivo devono essere raccolte, convogliate e, prima del loro sversamento nei corpi idrici recettori, devono essere sottoposte ad opportuno trattamento.

Di seguito vengono descritte le fasi che, durante un processo di trattamento, possono permettere di rimuovere e/o trasformare le sostanze inquinanti presenti nei reflui.

I sistemi di trattamento delle acque reflue vengono realizzati con il fine di ottenere l’abbattimento dei solidi sospesi e del BOD (Biochemical Oxygen Demand) – con questa sigla si indica la quantità di ossigeno utilizzata dai batteri per ossidare il materiale organico biodegradabile contenuto in un liquame: quindi tanto più alto sarà questo valore, tanto maggiore sarà il contenuto di sostanza organica degradata.

Nei processi di depurazione naturale e artificiale, l’ossidazione delle sostanze organiche è operata da microrganismi che le demoliscono attraverso differenti processi metabolici in sostanze di struttura più semplice. La crescita e il metabolismo microbico sono quindi fondamentali per l’andamento dei processi di trattamento dei liquami e le trasformazioni biochimiche che si svolgono sono il risultato delle interazioni tra microrganismi appartenenti a popolazioni microbiche eterogenee.

In un generico processo di depurazione dei reflui a fanghi attivi è possibile distinguere 3 fasi che si susseguono nella depurazione delle acque reflue:

- trattamento primario;
- trattamento secondario;
- trattamento terziario.

Pretrattamenti vengono effettuati prima di sottoporre i liquami ai veri e propri processi di depurazione e consentono di eliminare le parti grossolane, oleose, ecc. contenute nei reflui. Durante la grigliatura il liquame transita attraverso una maglia (di varie dimensioni e forme) in grado di trattenere i corpi solidi di una certa dimensione convogliati dal liquame stesso. Con il trattamento primario viene eliminato il materiale sedimentabile attraverso mezzi meccanici, disgregazione e grigliatura e attraverso la dissabbiatura, vengono allontanati i particolati inerti, mentre, con la desoleatura, gli olii e i grassi. A questi trattamenti segue il processo di sedimentazione primaria vero e proprio, con effetto trascurabile sull’abbattimento dei microrganismi, che porta alla deposizione di particelle solide sul fondo delle vasche e alla formazione dei fanghi attivi primari con conseguente chiarificazione del liquame. Il trattamento secondario è un processo biologico che permette di ossidare le sostanze organiche. Si effettua in apposite vasche attraverso insufflazione d’aria o mediante energica agitazione del liquame, permettendo la precipitazione dei colloidali biologici e delle sostanze inorganiche sospese (2). Il carico inquinante viene considerato un substrato nutritivo che viene metabolizzato dalla massa microbica presente nella vasca di ossidazione: in questo modo si esegue la depurazione vera e propria su modello dei processi di autodepurazione naturali, con la differenza che qui le condizioni sono controllate e gli spazi e i tempi sono ridotti.

Il trattamento terziario, o fase di sedimentazione secondaria, permette la chiarificazione del liquame proveniente dal trattamento secondario. In questo stadio si effettua la divisione tra acqua e fanghi di risulta: i fanghi sedimentano, mentre l’acqua viene separata per sfioramento. In questa fase l’abbattimento dei microrganismi patogeni, agenti eziologici di malattie a circuito

fecale-orale (*Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Yersinia*, ecc.), unitamente a quello di altri batteri responsabili di malattie per l'uomo (micobatteri, brucelle, ecc.), può raggiungere livelli molto elevati, compresi tra il 95÷98% (3). Contemporaneamente si osserva una diminuzione del 99% dei coliformi fecali e streptococchi fecali, indicatori classici di contaminazione fecale (4). Il trattamento in condizioni ottimali è efficace anche per l'eliminazione di un gran numero di virus, soprattutto se si opera con lunghi tempi di permanenza nella vasca di ossidazione (5). Bassi rendimenti di abbattimento si riscontrano comunque per forme più resistenti, quali protozoi, metazoi, spore di clostridi solfitoriduttori.

A questa fase segue generalmente un trattamento di disinfezione che si esegue attraverso la clorazione che svolge azione ossidativa sulle sostanze organiche. Per procedere alla disinfezione si fa uso, nella gran parte dei casi, di ipoclorito di sodio o biossido di cloro che vengono aggiunti all'acqua in uscita in opportune quantità e per tempi determinati.

È noto tuttavia che questi disinfettanti non sono in grado di eliminare dall'acqua tutti i patogeni presenti: virus, parassiti, uova di elminti risultano particolarmente resistenti e in grado quindi di superare le barriere sanitarie e di essere ritrovati nei corpi idrici recettori e nell'ambiente. Tecniche di disinfezione alternative, quali ozonizzazione e irraggiamento con raggi ultravioletti che, in alcuni casi, danno buoni risultati anche contro gli organismi patogeni più resistenti, hanno un impiego limitato a situazioni particolari per gli alti costi di utilizzo. Tuttavia possono costituire un valido supporto ai trattamenti comunemente usati nel caso di riuso degli effluenti per scopi agricoli.

2. GIARDIA INTESTINALIS E CRYPTOSPORIDIUM PARVUM E LORO DISTRIBUZIONE NELL'AMBIENTE

I protozoi parassiti *Cryptosporidium parvum* e *Giardia intestinalis* sono stati segnalati (6), tra i patogeni emergenti, come agenti eziologici di forme acute di gastroenterite nell'uomo. Le loro forme infettive (oocisti e cisti), di resistenza e diffusione nell'ambiente, possono essere ritrovate in acque superficiali e profonde, potabili, marine e reflue. La loro diffusione e distribuzione in aree geografiche diverse dimostra una particolare capacità d'adattamento alle più diverse condizioni climatiche e territoriali. In generale l'incidenza di questi due protozoi nella popolazione è del 2-5%, 1-3%, rispettivamente per *Giardia* e *Cryptosporidium*, nei Paesi industrializzati e del 20-30%, 5-10% nei Paesi in via di sviluppo (7). In Italia tuttavia, diversamente da altri Paesi dove si sono verificate vere e proprie epidemie, l'incidenza delle patologie è bassa e i casi di criptosporidiosi e giardiasi sono rari e spesso limitati nell'ambito della sindrome da HIV.

La trasmissione dei due protozoi attraverso l'acqua è ampiamente confermata (8-11) ed è aumentata dalla presenza di alcune caratteristiche intrinseche alla biologia dei due parassiti: mancanza di specificità parassitaria, capacità di permanenza e resistenza nell'ambiente e a tutti i processi di trattamento delle acque compresa la disinfezione, ridotte dimensioni delle forme infettive e dose media infettante molto bassa. Inoltre, molte specie di animali selvatici (es. i gabbiani) giocano un ruolo importante nella contaminazione delle acque e quindi nella diffusione dei parassiti che possono ritrovarsi nelle acque in seguito all'apporto diretto di feci o tramite acque di scarico, percolati e acque di dilavamento dei suoli agricoli adibiti a pascolo di animali infetti o dei suoli trattati con fanghi di depurazione contaminati (12).

Valori di concentrazione variabili per entrambi i parassiti sono stati riscontrati nei diversi tipi di acqua, in funzione anche della metodologia di analisi adottata.

2.1. *Giardia*: descrizione generale e ciclo biologico

Gli organismi appartenenti al genere *Giardia* sono i protozoi flagellati a più alta potenziale prevalenza nell'intestino umano. La giardiasi ha un'epidemiologia simile a quella dell'amebiasi, ma, per il basso peso specifico, le cisti restano più a lungo sospese in acqua, che funge, così, da veicolo d'infezione (13). La trasmissione avviene per via orale. Questi organismi hanno minore specificità parassitaria di quanto fino a poco tempo fa si ritenesse; è attualmente dibattuto il ruolo che realmente possono svolgere gli animali nella diffusione dell'infezione (14). Tuttavia negli USA è stato segnalato un caso in cui *Giardia*, presente nelle acque superficiali contaminate da feci di castoro, è stata causa di un'epidemia (15).

Per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche, questo protozoo è dotato di simmetria bilaterale, è lungo tra i 10 e i 20 µm e largo poco più della metà, ha la forma di un cucchiaino e non ha un citostoma; le cisti, forme infettive e di resistenza, sono ovali e lunghe tra gli 8 e i 14 µm (15).

Ha un ciclo biologico che comprende due stadi: il trofozoite riproduttivo (la fase vegetativa) e le cisti (la fase di resistenza e di trasmissione dell'infezione). Quando ingerite da un eventuale ospite, le cisti sono attivate dall'esposizione agli acidi dello stomaco e forse anche dal contatto con alcuni enzimi (16). Dopo l'attivazione il trofozoite lascia la parete della cisti e rapidamente avviene la citocinesi dando origine, tramite una scissione binaria, a due trofozoiti che vanno ad

aderire alla mucosa del duodeno e del tenue dell'ospite (17). Il tempo trascorso tra l'ingestione dell'organismo e la comparsa del parassita nelle feci varia da 9 a 14 giorni, mentre il periodo d'incubazione è variabile: da 1 a 75 giorni con valori medi che vanno dagli 8 ai 14 giorni (18). Dal punto di vista clinico, spesso l'infezione è asintomatica.

2.2. *Cryptosporidium*: descrizione generale e ciclo biologico

Cryptosporidium è un parassita coccide intracellulare, che interessa il tratto gastrointestinale di numerosi animali, uccelli, pesci e mammiferi, uomo compreso. Il parassita ha una distribuzione cosmopolita (19).

Al momento sono conosciute sei specie appartenenti al genere *Cryptosporidium*, di cui *C. parvum* è quella maggiormente implicata nella patologia umana e degli animali domestici (19). La trasmissione e la successiva infezione avvengono attraverso quella che è la forma infettante, l'oocisti, di forma sferica e di dimensioni che variano dai 4 ai 6 µm (15).

L'ampia capacità parassitaria, insieme con l'alta produzione di oocisti, garantisce un elevato livello di contaminazione dell'ambiente. L'infezione avviene a seguito dell'ingestione delle oocisti, che contengono quattro sporozoi mobili che, rilasciati all'esterno per mezzo di una sutura che si crea nella parete dell'oocisti causata dall'esposizione a tripsina, si attaccano intimamente alla superficie delle cellule epiteliali (microvilli dell'intestino tenue) dell'ospite. Gli sporozoi si sviluppano entro un vacuolo che è intracellulare ma extracitoplasmatico, e maturano in trofozoi. In seguito avviene la schizogonia con formazione di uno schizonte contenente otto merozoi che, liberati, possono andare ad infettare altre cellule epiteliali dell'intestino tenue (ciclo asessuato). Il merozoita in seguito genera il microgametocita o il macrogametocita; il primo rilascia microgameti che vanno a fecondare il macrogamete (ciclo sessuato). Dallo zigote si formano oocisti che, una volta mature, contengono i 4 sporozoi. L'oocisti prima di essere espulsa dall'ospite può liberare gli sporozoi e infettare così nuove cellule epiteliali intestinali (autoinfezione). Il soggetto affetto da criptosporidiosi arriva ad eliminare 10¹⁰ oocisti al giorno (20) e l'infezione, che si può manifestare dai 3 ai 6 giorni dopo l'ingestione delle oocisti, ha una durata media di circa 12 giorni.

2.3. Correlazioni tra *Giardia* e *Cryptosporidium* e indicatori di qualità delle acque

In Italia, la ricerca di questi due parassiti nelle acque è stata effettuata raramente, soprattutto per le difficoltà insite nelle procedure di rilevamento e di identificazione. Tuttavia, considerando la loro potenziale diffusione nell'ambiente e il ruolo che essi possono svolgere in relazione alla salute umana, anche in funzione della loro capacità di resistenza ai trattamenti di disinfezione, negli ultimi anni sono state approfondite le ricerche e la loro presenza è stata verificata in diverse matrici ambientali (9, 21-25).

Gli indicatori batterici di contaminazione fecale non sembrano adeguati per segnalare la presenza o l'assenza di organismi come *Giardia* e *Cryptosporidium*. Infatti, da stime comparative riguardanti la diversa risposta, alla pre- e post-clorazione, degli indicatori coliformi fecali ed enterococchi e di *Clostridium perfringens* sono stati ottenuti dati diversi: coliformi fecali ed enterococchi possono essere eliminati in percentuale più elevata e più rapidamente

rispetto a *Cl. perfringens* che sembra invece seguire un andamento più simile a quello di organismi più resistenti (virus, *Giardia* e *Cryptosporidium*, uova di elminti) (26). Gli indicatori classici sembrerebbero quindi inappropriati per la stima del comportamento dei protozoi enterici rispetto alla disinfezione e studi svolti negli Stati Uniti confermerebbero che le concentrazioni di *Giardia* e *Cryptosporidium*, significativamente correlate tra loro, non correlano invece con quelle di coliformi fecali e totali (27). Sarebbe quindi più adeguata la scelta di un indicatore, che seguendo una cinetica più simile a quella dei due parassiti, sia in grado di fornire indicazioni sull'efficienza dei processi di trattamento delle acque anche nei loro confronti.

2.4. Efficacia dei trattamenti di disinfezione nella riduzione delle cisti di *Giardia* e delle oocisti di *Cryptosporidium*

Considerando l'importante ruolo che l'acqua assume come potenziale veicolo di trasmissione di malattie a carattere gastroenterico, risulta importante verificare l'efficienza dei trattamenti di depurazione e delle pratiche di disinfezione, utili a prevenire la diffusione di patogeni dei corpi idrici e la contaminazione ambientale che ne può derivare.

Per quanto riguarda *Giardia* e *Cryptosporidium*, alcune indagini hanno messo in evidenza che la presenza di questi parassiti in acque di scarico può essere variabile e variabili le capacità di abbattimento delle loro concentrazioni (28). Indagini svolte in Italia su un impianto di trattamento, hanno evidenziato che i livelli di concentrazione possono variare, in uscita dall'impianto, da 10,5 a 57 oocisti/l per *Cryptosporidium* e da 18 a 33 cisti/l per *Giardia* (21).

La disinfezione, attuata di routine per il trattamento delle acque, risulta relativamente inadeguata per l'abbattimento delle forme di resistenza di questi due protozoi. La capacità di resistenza dei due protozoi ai trattamenti anche se *Giardia* è meno resistente rispetto a *Cryptosporidium*, impegna gli studiosi a trovare soluzioni efficaci per abbattere le loro concentrazioni: nuovi agenti chimici, combinazioni di trattamenti o comunque condizioni opportune che permettano di trattare adeguatamente le acque. Cloro, biossido di azoto e clorammine hanno scarso effetto sulle loro riduzioni; inoltre, sono necessari per la loro inattivazione alti valori di Ct (Concentrazione x tempo richiesto ad abbattere le concentrazioni fino a un livello specifico). In alcune circostanze si sono dimostrati efficaci i metodi fisici: l'impiego dei raggi ultravioletti (UV) potrebbe essere un valido mezzo di trattamento. Inoltre, è stato segnalato (29) anche che l'uso sequenziale di diversi agenti disinfettanti potrebbe costituire un'opzione efficace e più promettente rispetto all'uso di disinfettanti usati singolarmente. Tecniche di disinfezione alternative al cloro, che abbiano la stessa efficacia nell'abbattimento degli indicatori microbici ma che risultino anche efficaci nei riguardi dei patogeni, sono state applicate utilizzando, tra l'altro, acido peracetico, il cui utilizzo, diversamente dal cloro, non genera sottoprodotti tossici. Da studi di comparazione con ipoclorito di sodio è stata ipotizzata una maggiore efficacia dell'acido peracetico verso *Giardia*, ma nessuna significativa, verso *Cryptosporidium* (dati non pubblicati).

3. MATERIALI E METODI

Nell'ambito di un programma di controllo della qualità degli effluenti di un impianto di trattamento di acque reflue, svolto in funzione della verifica dell'efficienza per la possibilità di riutilizzare le acque trattate per l'irrigazione, sono stati analizzati, dal punto di vista microbiologico, campioni di acqua prelevati con cadenza mensile nell'arco di un anno. La serie di prelievi è stata effettuata presso il depuratore dell'Aeroporto "Leonardo Da Vinci" di Fiumicino (Roma). Campioni di acqua sono stati prelevati in corrispondenza dell'entrata al depuratore (acqua grezza), dell'effluente dopo trattamento con ipoclorito e dell'effluente dopo trattamento con raggi ultravioletti (UV) per lo svolgimento di analisi microbiologiche.

Tutte le operazioni di prelievo e di trasporto dei campioni sono state svolte seguendo le specifiche norme tecniche (31).

I volumi di acqua prelevati erano funzione dei microrganismi da ricercare: coliformi totali e fecali ed *Escherichia coli*, streptococchi fecali, *Salmonella* spp., *Vibrio* spp., spore dei clostridi solfitoriduttori e cisti e oocisti dei protozoi *Giardia* e *Cryptosporidium*.

Le analisi sono state effettuate utilizzando la tecnica della filtrazione su membrana (30) per i coliformi, gli streptococchi ed *E. coli*; per la ricerca di *Salmonella* e *Vibrio* è stato applicato il metodo di Presenza/Assenza (P/A) (31); per le spore dei clostridi solfitoriduttori è stato utilizzato il metodo dell'inclusione in tubo (31); i protozoi sono stati rilevati con il metodo di filtrazione su cartuccia con eluizione e lettura microscopica per immunofluorescenza (31), e successivamente anche con la tecnica di separazione immunomagnetica (32).

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con il programma di calcolo SPSS 9.0 per Windows.

3.1. Schema dell'impianto di depurazione dell'Aeroporto di Fiumicino

Il depuratore presso cui sono stati effettuati i campionamenti tratta le acque provenienti dai servizi aeroportuali e dai bottini di bordo delle aeromobili che transitano nell'Aeroporto di Fiumicino.

È stato progettato per trattare 12.000 m³ di acqua al giorno, attualmente ne tratta circa 6.000 m³. Nell'anno 2000, anno in cui sono stati effettuati i prelievi, sono stati depurati 2.099.300 m³.

Al depuratore affluiscono acque grasse, provenienti da bar e ristoranti e liquami provenienti da servizi igienici dell'aeroporto e degli aerei.

Le acque grasse subiscono, in sequenza, una filtrazione che elimina le sostanze sospese; un'omogenizzazione che corregge le fluttuazioni di portata; una flocculazione che elimina le microparticelle in sospensione e una flottazione.

I liquami subiscono una grigliatura grossolana che trattiene i corpi solidi più grossolani; successivamente essi sono raccordati con le acque grasse e i fanghi. Così composto il refluo è pretrattato tramite grigliatura fine, dissabbiatura e disoleatura. All'uscita il refluo in parte viene trasferito alla predenitrificazione e in parte a un ripartitore di portata. Nel primo caso il refluo subisce una predenitrificazione e una ossidazione/denitrificazione, processi che consentono di rimuovere l'azoto. Successivamente, anche in questo caso, il refluo viene convogliato nel ripartitore di portata ed è ripartito in tre vasche nelle quali avviene la sedimentazione secondaria.

Il fango raccolto dal fondo delle vasche di sedimentazione, viene in parte ricircolato a monte del processo a fanghi attivi e in parte avviato allo smaltimento dove subisce digestione aerobica, ispessimento, accumulo, disidratazione e infine viene incenerito.

L'effluente che esce dai tre sedimentatori secondari viene sottoposto a trattamento di disinfezione (prima fase di disinfezione).

L'impianto considerato si avvale, anche, di una seconda fase di disinfezione tramite trattamento a luce ultravioletta.

L'acqua in questo caso passa all'interno di tubazioni costituite da un co-polimero di teflon; durante il deflusso all'interno dei tubi, essa è irradiata da raggi ultravioletti con lunghezza d'onda pari a 253,7 nm. Nell'Appendice A è raffigurata una rappresentazione schematica dell'impianto descritto.

3.2. Metodo per il rilevamento di cisti e oocisti di protozoi patogeni nelle acque

Volumi noti del campione da analizzare sono stati filtrati attraverso filtri a cartuccia (porosità nominale 1 μm). Sono stati campionati volumi diversi, a seconda del tipo di acqua da esaminare: per l'acqua grezza (all'entrata del depuratore) sono stati filtrati 400 ml, per l'acqua dopo clorazione 70 l, mentre per l'acqua, dopo trattamento ad UV, 100 l.

La filtrazione/concentrazione dell'acqua prelevata è stata effettuata tramite una pompa elettrica collegata alla cartuccia. Le cisti e le oocisti durante il passaggio dell'acqua rimangono adese al filtro della cartuccia. Dopo filtrazione è stata effettuata l'eluizione della cartuccia, per portare in soluzione le cisti e le oocisti. L'eluato raccolto è stato centrifugato e il supernatante ottenuto è eliminato. L'analisi del campione concentrato è stata effettuata per immunofluorescenza, o nel caso l'eccessiva torbidità del campione non lo consentisse, è stata effettuata una chiarificazione per flottazione. Il metodo analitico fa riferimento alla procedura indicata nella raccolta *Metodi di analisi per le acque destinate al consumo umano* prodotta dall'Istituto Superiore di Sanità (31).

La determinazione mediante immunofluorescenza diretta è stata effettuata con l'uso di un kit presente in commercio composto da:

- anticorpi monoclonali diretti contro le cisti di *Giardia* e le oocisti di *Cryptosporidium* coniugati con Isotiocianato di Fluoresceina;
- controllo positivo;
- controllo negativo;
- soluzione di contrasto;
- soluzione di montaggio (*mounting medium*);
- vetrini portaoggetto divisi in pozzetti.

La lettura del campione è stata effettuata con microscopio a epifluorescenza a 1000 ingrandimenti per immersione: cisti e oocisti appaiono di colore verde mela e fluorescenti.

Il riconoscimento dei due protozoi è stato effettuato anche in base alle dimensioni delle cisti e delle oocisti, misurate al microscopio.

Per il recupero dei due protozoi, dal settimo campione in poi fino al dodicesimo, è stato impiegato il kit che utilizza microsferi uniformi (Dynabeads CG-Combo), monodisperse, superparamagnetiche, coniugate covalentemente con anticorpi anti-cisti di *Giardia* e anti-oocisti

di *Cryptosporidium*. La metodologia impiegata prevede che le cisti e le oocisti siano isolate a partire da campioni concentrati di acqua costituiti da un volume massimo di 10 ml (29).

La concentrazione dei campioni è stata effettuata mediante la metodica standard sopra descritta, seguita da incubazione del campione concentrato con le Dynabeads GC-Combo. Gli anticorpi legati alla superficie delle Dynabeads legano selettivamente le cisti/oocisti eventualmente presenti nel campione. I complessi Dynabeads-cisti/oocisti vengono separati mediante l'applicazione di un campo magnetico. La sospensione finale ottenuta in un volume ridotto (circa 50 μm) viene sottoposta a lettura mediante immunofluorescenza diretta (32).

Tale metodica, pur richiedendo, rispetto al metodo classico, passaggi aggiuntivi, tuttavia consente, rispetto al metodo precedentemente descritto, l'analisi dell'intero volume eluato.

Nelle Figure 1 e 2 sono riportate le apparecchiature utilizzate per il recupero dei protozoi considerati.



Figura 1. Apparecchiatura di filtrazione



Figura 2. Filtro a cartuccia

4. RISULTATI

La Tabella 1 riporta i valori medi e la deviazione standard ottenuti dall'analisi dei campioni esaminati relativi alla ricerca di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, *E. coli*, spore di clostridi solfitoriduttori, cisti di *Giardia*, oocisti di *Cryptosporidium*, *Salmonella* spp. e *Vibrio* spp.

Tabella 1. Concentrazioni medie dei parametri microbiologici e parassitologici nei reflui presi in esame (su 12 campioni per tutti i microrganismi, su 6 campioni per *Cryptosporidium*)

ORGANISMI	GREZZO (acqua in entrata)		IPOCLORITO (acqua dopo clorazione)		UV (acqua dopo trattamento UV)	
	valore medio	deviazione standard	valore medio	deviazione standard	valore medio	deviazione standard
Indicatori						
Coliformi totali UFC/100 ml	2,2x10 ¹²	7,5x10 ¹²	1x10 ⁵	4x10 ⁵	6,9x10 ⁴	2x10 ⁵
Coliformi fecali UFC/100 ml	2x10 ⁷	2x10 ⁷	7,1x10 ⁴	2,4x10 ⁵	0,3x10 ¹	0,6x10 ¹
<i>E. coli</i> UFC/100 ml	8,6x10 ⁶	9,1x10 ⁶	1,2x10 ²	2,8x10 ²	0,1x10 ¹	0,1x10 ¹
Streptococchi fecali UFC/100ml	1,3x10 ⁶	9x10 ⁵	4,2x10 ²	5x10 ²	1,3x10 ¹	4,2x10 ²
Clostridi solfitoriduttori UFC/100 ml	3x10 ³	3x10 ³	3,8x10 ²	2,5x10 ²	2x10 ²	2,7x10 ²
Patogeni						
<i>Giardia</i> ^(a) /l	3,1x10 ⁴	1,5x10 ⁴	4,7x10 ²	3,2x10 ²	5,8x10 ¹	9,1x10 ¹
<i>Giardia</i> ^(b) /l	7x10 ³	4,6x10 ³	5,6x10 ²	4,6x10 ²	5,1x10 ¹	5x10 ¹
<i>Cryptosporidium</i> /l	1,3x10 ¹	1,3x10 ¹	0,85	0,74	0,34	0,44
<i>Salmonella</i> , P/A per l		12/12		8/12		3/12
<i>Vibrio</i> , P/A per l		7/12		3/12		0/12

P/A: Presenza/Assenza

a: identificazione per immunofluorescenza

b: identificazione per immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

4.1. Andamento dei processi di rimozione microbica e parassitologica nell'impianto di depurazione

Le Figure 3 e 4 mostrano la riduzione, rispettivamente, del carico microbico e parassitologico nel corso del processo di depurazione e disinfezione delle acque esaminate. Gli istogrammi fanno riferimento alla concentrazione media di organismi stimata nell'arco di 12 mesi, durata dell'intera ricerca.

In particolare, nella Figura 3, per quanto riguarda i coliformi totali, dal grafico si nota una riduzione pari a circa 7 ordini di grandezza nel corso dell'intero processo di trattamento delle acque fino alla clorazione (fase 1).

Ridotto, invece, risulta l'abbattimento che ha luogo nel passaggio successivo dei liquami trattati con ipoclorito di sodio e successivamente sottoposti ad irraggiamento con UV.

Nel caso dei coliformi fecali si nota una riduzione di circa 3 ordini di grandezza nel corso del processo fino alla clorazione, con un abbattimento ulteriore delle concentrazioni dopo trattamento con UV, dove si verifica una riduzione di circa altri 4 ordini di grandezza.

Per ciò che riguarda *E. coli*, la riduzione che ha luogo nella prima fase di trattamento, fino alla clorazione, è pari a circa 6 ordini di grandezza, mentre nella seconda fase, dopo trattamento con UV, la riduzione è pari a circa 2 ordini di grandezza.

Gli streptococchi subiscono una riduzione di circa 3 ordini di grandezza a cui si somma un ulteriore abbattimento, dopo trattamento con UV di circa 1 ordine di grandezza.

Notevolmente più ridotto è l'abbattimento delle concentrazioni dei clostridi solfitoriduttori che subiscono una riduzione di circa un ordine di grandezza, rimanendo abbastanza stabili anche dopo trattamento con UV.

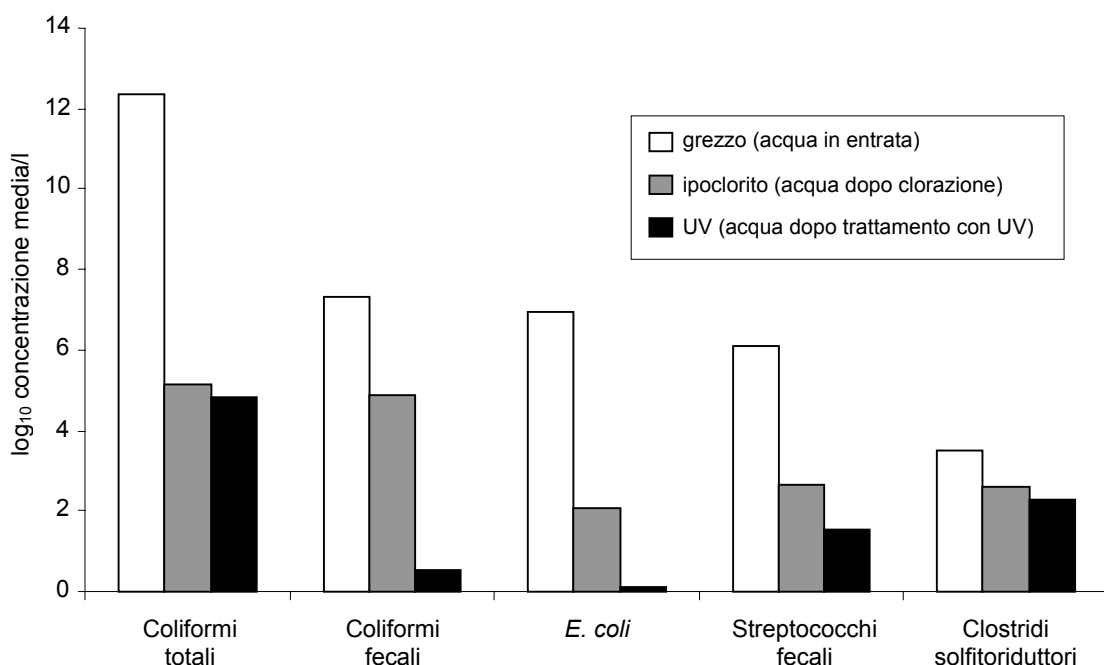


Figura 3. Andamento delle concentrazioni degli indicatori microbiologici nelle acque esaminate

La Figura 4 illustra la riduzione del numero delle cisti di *Giardia* e delle oocisti di *Cryptosporidium*. Con il metodo classico di concentrazione seguita da immunofluorescenza, le cisti di *Giardia* hanno subito una riduzione di circa 2 ordini di grandezza dopo disinfezione con ipoclorito di sodio, seguita da un ulteriore abbattimento pari a circa 1 ordine di grandezza, dopo irraggiamento con UV.

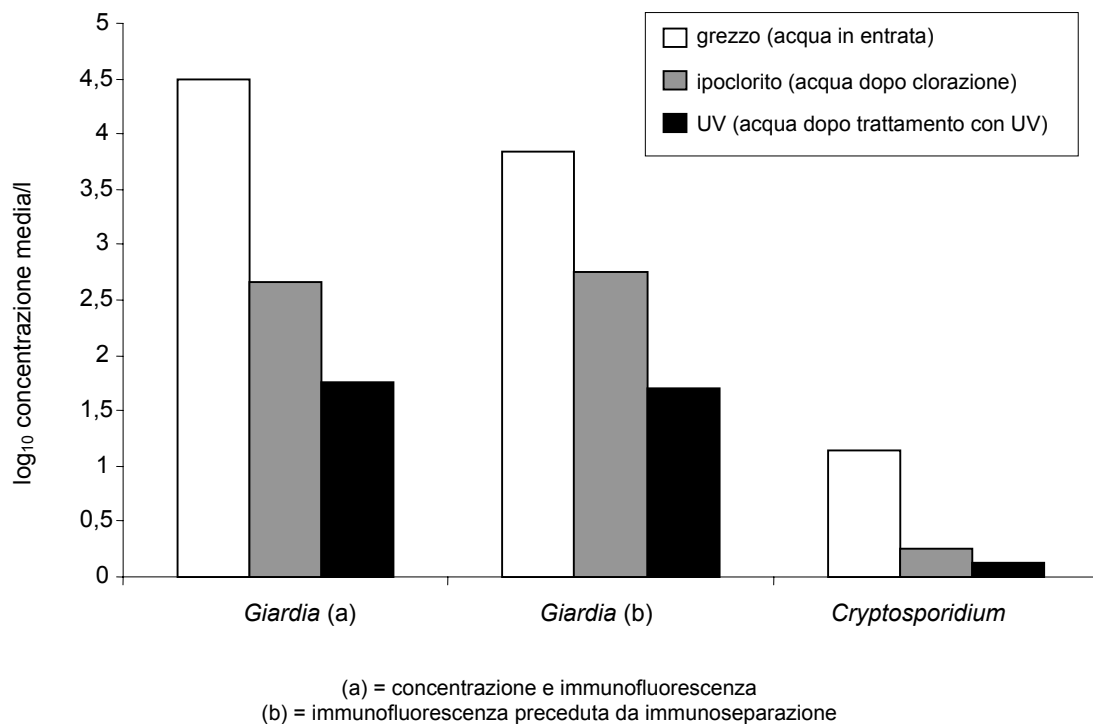


Figura 4. Andamento delle concentrazioni delle cisti di *Giardia* e delle oocisti *Cryptosporidium* nelle acque esaminate

Diversamente i risultati ottenuti con il metodo dell'immunofluorescenza preceduta da immunoseparazione hanno evidenziato una riduzione di circa un ordine di grandezza nella prima fase di trattamento e di circa un ulteriore ordine dopo il passaggio a UV.

Per quanto riguarda *Cryptosporidium* l'abbattimento della concentrazione è di circa 1 ordine di grandezza nella prima fase, fino alla clorazione, mentre si ottiene una riduzione di poco superiore nella fase che prevedeva il trattamento con luce ultravioletta.

4.2. Percentuali di abbattimento del carico microbico e parassitologico nel corso del processo di trattamento

Gli indicatori batteriologici (coliformi fecali, coliformi totali, *E. coli* e streptococchi fecali) hanno presentato nel corso dei 12 mesi di campionamento, dopo la prima fase di trattamento fino alla clorazione, percentuali di abbattimento pressoché costanti (Appendice B).

Gli stessi parametri esaminati nelle acque dopo trattamento con UV, presentano una riduzione piuttosto costante per quanto riguarda i coliformi fecali, mentre sono stati osservati valori minimi di riduzione pari al 51,1% e al 33,3%, rispettivamente per coliformi totali e streptococchi fecali.

Globalmente l'intero processo porta ad un abbattimento complessivo del 99,9-100% degli indicatori di contaminazione.

Molto variabili invece risultano le percentuali di abbattimento dei clostridi solfitoriduttori: un valore minimo pari a 3,3% si riscontra nel mese di ottobre (campione 9) e un valore massimo pari a 97,9% nel mese di luglio (campione 7), relativamente alla prima fase di trattamento fino alla clorazione. Un'ampia variabilità caratterizza anche i risultati ottenuti dopo la fase di trattamento con UV: le spore dei clostridi presentano un valore minimo di rimozione pari a 3,3% nel secondo campionamento di maggio (campione 6) e un valore massimo pari a 99,3% nel primo campionamento dello stesso mese (campione 5). In generale, nel corso del processo di depurazione è stato ottenuto un abbattimento totale delle spore di clostridi che varia dal 68,6% al 99,9%.

Per ciò che concerne le cisti di *Giardia*, rilevate con immunofluorescenza, l'abbattimento totale conseguito varia dal 93 al 99%, relativamente alla prima fase di trattamento fino alla clorazione.

Nella seconda fase di trattamento, dopo irraggiamento con UV, il massimo abbattimento conseguito (100%), è stato osservato nei mesi di gennaio e marzo (campioni 1 e 3), mentre una riduzione della percentuale di abbattimento è stata rilevata nel mese di luglio (21,9 %) (campione 7).

In riferimento ai dati ottenuti mediante immunofluorescenza preceduta da immunoseparazione, i valori di rimozione conseguiti corrispondono a un valore minimo dell'83,4% e uno massimo del 99,1%, riferiti alla prima fase di trattamento fino alla clorazione.

Per quanto riguarda invece la seconda fase di trattamento, dopo irraggiamento con UV, le cisti di *Giardia* rilevate per mezzo dell'immunoseparazione seguita da immunofluorescenza, presentano percentuali di riduzione variabili dal 37,5% al 98,7%.

La percentuale di abbattimento totale osservata per le cisti di *Giardia* è stata stimata intorno al 100% quando l'analisi è stata effettuata con il metodo della concentrazione/immunofluorescenza.

Nel caso in cui la lettura al microscopio a fluorescenza veniva preceduta da immunoseparazione è stato invece riscontrato un abbattimento pari al 99%.

Nel corso della prima fase dell'indagine effettuata presso il depuratore, durante la quale i protozoi venivano ricercati tramite la sola tecnica di concentrazione/immunofluorescenza, *Cryptosporidium* non è stato mai rilevato. Successivamente, l'analisi in parallelo, condotta con la tecnica della separazione immunomagnetica, ha permesso di isolare anche oocisti di *Cryptosporidium*. Pertanto per sei campioni è stato osservato che le oocisti di *Cryptosporidium* subivano un abbattimento, nella prima fase di trattamento fino alla clorazione, variabile tra il 50% e il 97,7%.

Gli effetti dovuti alla seconda fase, dopo trattamento con UV, hanno dato abbattimenti molto variabili oscillanti da un valore minimo del 4,7% ad un massimo del 100%. La riduzione percentuale delle oocisti di *Cryptosporidium* è risultata quindi variabile tra il 76% e il 100%.

4.3. Correlazioni

Nelle Tabelle presentate nell'Appendice C sono riportati i risultati riguardanti le correlazioni tra le cisti di *Giardia* e le oocisti di *Cryptosporidium* e gli altri parametri batteriologici considerati.

L'analisi statistica, mirata alla valutazione dei rapporti di correlazione, tra i diversi parametri, è stata estesa sia ai dati relativi alla determinazione dei protozoi effettuata con il solo metodo di concentrazione/immunofluorescenza, sia a quelli ottenuti dalla stessa analisi preceduta però da immunoseparazione. Poiché il solo metodo di concentrazione e lettura al microscopio non ha consentito il rilevamento di oocisti di *Cryptosporidium*, in nessuno dei

dodici campionamenti effettuati, indicando quindi un limite del metodo, è stato di conseguenza possibile considerare, per il calcolo, solo i valori ottenuti per le cisti di *Giardia* e per i parametri batterici.

È stato invece possibile effettuare il calcolo dei rapporti di correlazione tra oocisti di *Cryptosporidium* e gli altri parametri con i dati ottenuti dopo l'adozione del metodo che prevedeva la fase di immunoseparazione.

Le Tabelle C1, C2 e C3 riportano i valori di correlazione tra le cisti di *Giardia* e i parametri batteriologici considerati. Nel caso dei campioni di acqua grezza non risultano correlazioni significative tra questo protozoo e gli altri parametri. Diversi, invece, sono i risultati per i campioni di acqua prelevata dopo il trattamento con ipoclorito in cui si evidenziano due correlazioni significative ($p < 0,05$) per entrambi i test statistici utilizzati (test di Spearman e test di Pearson), tra *Giardia* e coliformi totali e *Giardia* e coliformi fecali. Diversamente, nel caso dei campioni prelevati dopo irraggiamento con UV non è stata evidenziata alcuna correlazione.

Dalle Tabelle C4, C5 e C6, che riportano i dati relativi ai 6 campioni analizzati anche con il metodo della immunoseparazione, risulta che, nei campioni di acqua grezza, i valori delle cisti di *Giardia* sono correlate significativamente ($p < 0,05$), con quelli dei clostridi solfitoriduttori. Nel caso delle oocisti di *Cryptosporidium* è stata calcolata, in questo caso, una correlazione statisticamente significativa con *E. coli* ($p < 0,05$).

Per ciò che riguarda i campioni di acqua prelevati dopo trattamento con ipoclorito non sono state evidenziate correlazioni statisticamente significative con alcun parametro batteriologico, mentre valori statisticamente significativi sono stati calcolati tra cisti di *Giardia* e oocisti di *Cryptosporidium* ($p < 0,05$). Lo stesso tipo di correlazione è stata ottenuta nel caso dei campioni prelevati dopo trattamento con UV ($p < 0,05$).

4.4. Presenza di *Vibrio* spp. e *Salmonella* spp. nei reflui trattati

I risultati ottenuti dall'analisi qualitativa, che ha fornito dati di presenza (P) e assenza (A) per *Salmonella* spp. e *Vibrio* spp., sono descritti nella Tabella 2.

Tabella 2. Presenza di *Vibrio* spp. e *Salmonella* spp. rilevata nell'arco di un anno, nei reflui considerati

Campione	Acqua grezza		Effluente con ipoclorito		Effluente dopo UV	
	<i>Vibrio</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Salmonella</i>
1	A	P	A	A	A	A
2	A	P	A	P	A	A
3	A	P	A	A	A	A
4	A	P	A	P	A	A
5	P	P	P	P	A	P
6	P	P	P	P	A	P
7	P	P	P	A	A	A
8	P	P	A	P	A	A
9	P	P	A	P	A	A
10	A	P	A	A	A	A
11	P	P	A	P	A	A
12	P	P	A	P	A	P

P: Presente
A: Assente

Il 58% dei campioni di acque grezze all'entrata dell'impianto risulta positivo per la presenza di *Vibrio*, identificato in tre campioni come *V. cholerae* non O1 (campionamento dei mesi di aprile, settembre e ottobre). Per *Salmonella*, negli stessi campioni, la percentuale di positivi è stata pari al 100%.

Nella fase successiva di trattamento dei reflui (trattamento con ipoclorito di sodio), i risultati ottenuti hanno evidenziato la presenza di *Vibrio* nel 25% dei campioni esaminati, e quella di *Salmonella* nel 67% degli stessi campioni.

Nell'ultima fase di trattamento, quella corrispondente all'irraggiamento con ultravioletti, il 100% dei campioni è risultato negativo per *Vibrio* ma ancora il 25% risultava positivo per *Salmonella*.

5. DISCUSSIONE

I dati ottenuti presso l'impianto di trattamento di acque reflue dell'Aeroporto di Fiumicino sono risultati abbastanza costanti nel corso dell'intero anno di indagine per tutti i parametri indicatori (coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, *E. coli*). In particolare, nelle acque in ingresso all'impianto, sono state riscontrate concentrazioni elevate di coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali ed *E. coli*, sebbene densità diverse siano state naturalmente rilevate per coliformi totali e coliformi fecali (rispettivamente di 2×10^{12} UFC/100 ml e 2×10^7 UFC/100 ml) e la concentrazione degli streptococchi fecali sia risultata mediamente più bassa e pari a $1,3 \times 10^6$ UFC/100 ml.

Per quanto riguarda le spore di clostridi solfitoriduttori nelle acque grezze sono state ottenute concentrazioni più variabili e oscillanti nel corso dei diversi campionamenti, con una media pari a 3×10^3 UFC/100 ml.

Nelle acque grezze per i due patogeni batterici *Vibrio* e *Salmonella* sono stati evidenziati comportamenti diversi nel corso dell'anno. *Vibrio* era presente in sette campioni su dodici, *Salmonella* è risultata invece sempre presente, a dimostrazione che la sua diffusione nei reflui può essere costante nell'arco dell'anno. Diversamente *Vibrio* è stato rilevato solo in alcuni periodi dell'anno in concomitanza a condizioni climatiche specifiche.

La presenza dei parassiti *Giardia* e *Cryptosporidium* è stata rilevata costantemente nelle acque grezze quando è stato utilizzato il metodo che prevede l'uso della separazione immunomagnetica. Questo, diversamente dal metodo in cui si applica la sola concentrazione per centrifugazione, ha fornito dati più costanti, dimostrando una maggiore efficienza e capacità di rilevamento, soprattutto se considerato il rilevamento di *Cryptosporidium*, presente in concentrazioni più ridotte nei reflui. Le concentrazioni di *Giardia* rilevate possono essere considerate analoghe a quelle riscontrate da altri autori (33, 34). Diversamente per *Cryptosporidium* sono stati ottenuti valori di concentrazione media più bassi ($1,3 \times 10^1$ /l), se confrontati ai dati riportati in letteratura in questo tipo di acque in aree geografiche diverse (33, 35, 36). In Paesi quali USA e Regno Unito è alta, comunque, anche l'incidenza dell'infezione; frequenti sono i casi riscontrati nella popolazione e numerose sono state le epidemie segnalate negli anni più recenti (14, 37).

Per gli indicatori, valori progressivamente più bassi sono stati rilevati in corrispondenza delle diverse fasi di trattamento delle acque, mentre riduzioni meno evidenti sono state calcolate per i due parassiti *Giardia* e *Cryptosporidium*. Infatti, andando ad analizzare l'efficienza di rimozione e quindi le percentuali di abbattimento dovute ai trattamenti di depurazione/disinfezione, si evidenzia che tutti i parametri batteriologici (coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali ed *E. coli*) subiscono abbattimenti elevati e mediamente pari al 99,9-100%, valori corrispondenti a condizioni operative ottimali di trattamento dei reflui. Ciò dimostra l'elevata efficienza di depurazione/disinfezione dell'impianto considerato ed evidenzia la relativa resistenza di questi microrganismi ai trattamenti di depurazione, caratteristica che limita però la loro capacità di segnalare la presenza di eventuali patogeni più resistenti.

Diversa invece risulta essere la resistenza delle spore dei clostridi solfitoriduttori; in questo caso, sono state calcolate percentuali di abbattimento variabili, con valori minimi pari al 68,6% e valori massimi pari al 99,9%. I clostridi hanno anche dimostrato una elevata variabilità nella risposta ai processi di disinfezione, andamento che conferma la loro maggiore resistenza avvicinandone la capacità di sopravvivere a organismi meno sensibili ai processi di trattamento

(26). Questa caratteristica rende quindi questo parametro un più valido indicatore di efficienza di trattamento delle acque.

Nonostante la nota resistenza al trattamento di disinfezione delle cisti e oocisti dei parassiti esaminati, le percentuali di abbattimento delle cisti sono risultate elevate, mentre per le oocisti più ridotte (76-100%). D'altra parte, analoghe riduzioni sono riportate in letteratura (33, 35), mentre più contrastanti sono i dati relativi alla riduzione delle concentrazioni di questi due parassiti dopo trattamento con UV.

I risultati ottenuti sono i primi dati rilevati sul territorio italiano in relazione ad acque sottoposte a questo trattamento. Una relativa efficacia nell'abbattimento delle densità è stata osservata per *Giardia*, mentre *Cryptosporidium* ha dimostrato sempre una maggiore resistenza a tutti i processi di depurazione, compreso il trattamento con raggi ultravioletti.

La buona efficienza del depuratore, per quanto riguarda la popolazione batterica, è stata dimostrata anche dagli abbattimenti subiti da *Vibrio* e *Salmonella*. Dopo la clorazione *Vibrio* era presente in 3 campioni di acqua su 12; *Salmonella* è stata rilevata ancora in 8 campioni su 12. Tuttavia, all'uscita del trattamento ad UV è stata riscontrata assenza di *Vibrio*, ma ancora sporadica presenza di *Salmonella* (3/12) che risulterebbe quindi più resistente di *Vibrio*.

In relazione alle correlazioni tra i parametri microbiologici e le cisti di *Giardia* e le oocisti di *Cryptosporidium*, importante risulta il dato relativo alle spore di clostridi solfitoriduttori, le cui densità risultano associate alla presenza di cisti nei campioni di acqua grezza. Alcune correlazioni sono state calcolate invece tra indicatori e *Giardia*, dato che, in alcuni casi, va a confermare dati di letteratura (37, 38).

Cisti e oocisti risultano correlate fra loro sia nei campioni di acque clorate sia in quelle che hanno subito il trattamento con raggi ultravioletti. Questo dato potrebbe essere legato al tipo di campione analizzato, più omogeneo e senza solidi sospesi che, invece, nei campioni di acqua grezza, modificherebbero l'efficienza del metodo.

Diversamente, solo nel caso di *E. coli* è stata osservata una correlazione significativa con le oocisti di *Cryptosporidium*. Si conferma, in generale, la mancanza di un'associazione tra gli indicatori batterici di contaminazione fecale e questo parassita, come d'altra parte è stato dimostrato da innumerevoli studi che hanno conseguito lo stesso risultato (23, 27).

CONCLUSIONI

Gli effluenti in uscita dal depuratore dopo clorazione e trattamento con luce ultravioletta presentano basse cariche di batteri indicatori di contaminazione fecale (ordine di grandezza medio 10^2 e 10^1 UFC/100 ml, rispettivamente), valori che forniscono una garanzia dell'efficacia dei trattamenti per quanto riguarda questi gruppi microbici.

Il riutilizzo degli effluenti a scopo irriguo, se considerati questi parametri, potrebbe essere un'opzione conveniente nell'ambito dell'utile recupero di risorse idriche.

È da considerare che scarsi sono gli studi epidemiologici che mettono in relazione i rischi per la salute e il riuso di acque per le pratiche agricole; e per i parametri microbiologici nessun valore limite è stato mai stabilito sulla base di modelli di valutazione del rischio.

Le uniche indicazioni derivano da valutazioni che hanno considerato i valori limite delle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (39), che hanno evidenziato che con valori pari a 1000 coliformi fecali/100 ml, il rischio annuale di contrarre un'infezione virale mangiando regolarmente vegetali irrigati con acque che rientrano nei limiti considerati era trascurabile e dell'ordine di 10^{-6} ÷ 10^{-7} . Si consideri che, per le acque potabili, la United States Environmental Protection Agency (USEPA) ha definito accettabile un rischio annuale per le infezioni enteriche pari a 10^{-4} .

Le linee guida dell'OMS, elaborate a Engelbers nel 1985 e confermate ad Adelboden nel 1989, se si considerano soltanto i batteri indicatori, individuano un valore limite di ≤ 1000 coliformi fecali/100 ml, espresso come media geometrica. A tali livelli, si considera che i patogeni siano assenti o ridotti a valori trascurabili. Inoltre è stato valutato che l'abbattimento naturale dei patogeni, una volta diffusi nell'ambiente, costituisce un fattore di sicurezza supplementare nel ridurre il rischio potenziale per la salute.

Il valore limite di ≤ 1000 coliformi fecali/100 ml è stato definito sulla base di evidenze epidemiologiche e non su criteri che si basavano sulla necessità di non correre nessun rischio ("no-risk") o comunque di non essere esposti al rischio di acquisire un'infezione ("zero-exposure"). Standard diversi si basano invece sul concetto di "rischio reale" che introduce, nella catena epidemiologica, fattori fisici e sociali, come l'immunità acquisita e il rapporto popolazione suscettibile/immune, che ha influenza sulla probabilità di sviluppare la malattia come risultato dell'esposizione.

Non esiste nessuna direttiva europea che regoli la pratica del riutilizzo di acque reflue. L'unico documento relativo a questa problematica è il *Manual guidelines for water re-use* del 1992 (40) che fornisce alcune linee guida. Le raccomandazioni più vecchie sono quelle del 1968, stabilite dallo Stato della California in USA, ma le più recenti, in tutti i Paesi del mondo, fanno ormai riferimento alle linee guida dell'OMS del 1989 (39). In Europa, Spagna e Francia hanno proceduto alla stesura di linee guida e limiti per il riutilizzo di queste acque che tengono conto, per il controllo sanitario, della qualità dell'effluente, dei metodi di irrigazione e del tipo di coltura.

Nel corso dell'indagine svolta, la ricerca dei protozoi *Giardia* e *Cryptosporidium* nelle acque grezze e trattate ha fornito dati interessanti circa la loro possibilità di diffusione nell'ambiente anche dopo trattamento, diffusione legata alla loro maggiore capacità di resistenza ai processi di depurazione. Infatti, essi sono stati rilevati dopo clorazione e anche il processo di trattamento con raggi UV non ha mostrato effetti particolarmente significativi sulla rimozione delle cisti e delle oocisti, che rimangono nell'effluente in uscita all'impianto in concentrazioni limitate, ma pur sempre presenti. Inoltre, risultato importante, in relazione ai due protozoi parassiti, è stato quello che ha portato alla scelta di metodi analitici validi ed efficienti che hanno permesso di

ottenere risultati più attendibili. Infatti, il metodo dell'immunoseparazione ha fornito rese maggiori e ha permesso di evidenziare la presenza di *Cryptosporidium*, non rilevato, nella fase iniziale dello studio, quando era utilizzato il solo metodo di concentrazione.

I risultati ottenuti hanno anche evidenziato la possibilità di utilizzare un organismo indicatore, "spia" della presenza di questi patogeni: i clostridi solfitoreduttori, risultano buoni indicatori di efficienza dei trattamenti in quanto presentano un andamento simile a quello dei due parassiti, in tutti i processi di rimozione e disinfezione dei reflui esaminati.

Studi ulteriori sono comunque necessari per individuare trattamenti di depurazione delle acque che permettano di attuare una significativa eliminazione dei due parassiti considerati al fine di limitare la loro diffusione nell'ambiente a scopo preventivo e a tutela della salute pubblica.

BIBLIOGRAFIA

1. Checcacci G, Meloni C, Pellissero L. *Igiene*. Milano: Ambrosiana; 1997.
2. Di Pinto AC, Floccia M, Sanna M. *La depurazione degli scarichi*. Roma: Edizioni delle Autonomie; 1988.
3. Yaziz MI, Lloyd BJ. The removal of Salmonellas in conventional sewage treatment process. *J Appl Bacteriol* 1979;46:131-37.
4. Maurzouk Y, Goyal SM, Gerba CP. Relationship of viruses and indicator bacteria in water and wastewater in Israel. *Water Res* 1980;14:1585-90.
5. Clarke NA, Stevenson RE, Chany SL, Klaber PW. Removal of enteric viruses from sewage by activated sludge treatment. *Am J Publ Health Ass* 1961;51:1118-24.
6. WHO. *Guidelines for drinking water quality. Protozoa*. Geneva: World Health Organization; 1996.
7. Marshall MM, Naumovitz D, Ortega Y, Sterling CR. Waterborne Protozoan Pathogens. *Clin Microbiol Rev* 1997;10(1):67-85.
8. Betts WB, Casemore DP, Fricker CR, Smith HV, Watkins J. *Protozoan Parasites and Water*. London: Royal Societies of Chemistry 1995.
9. Carraro E, Fea E, Beneventi S, Meucci L, Gilli G. *Acque per uso potabile*. Bologna: A Frigerio e G De Rossi; 1994.
10. Rose JB, Gerba CP, Jakubowsky W. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environ Sci Technol* 1991;25:1393-400.
11. Orgerth JE, Stibbs HH. Identification of *Cryptosporidium* oocysts in river water. *Appl Environ Microbiol* 1987;53:672-76.
12. Smith HV, Brown J, Coulson JC, Morris GP, Girwood RWA. Occurrence of *Cryptosporidium* spp oocysts in *Larus* spp gulls. *Epidemiol Infect* 1993;110:135-43.
13. Jakubowsky W, Hoff JC. *Waterborne Transmission of Giardiasis. US*. Cincinnati: Environmental Protection Agency; 1979.
14. Fricker CR. Detection of *Cryptosporidium* and *Giardia* in water. In: Betts WB, Casemore DP, Fricker CR, Smith HV and Watkins J (Ed.). *Protozoan parasites and water*. London: Royal Societies of Chemistry; 1995.
15. De Carneri I. *Parassitologia generale ed umana*. Milano: Ambrosiana; 1986.
16. Bingham AK, Mayer EA. *Giardia* excystation can be induced *in vitro* in acidic solution. *Nature* 1979;277:301-02.
17. Coggins JR, Schefer FW. *Giardia muris*: scanning electron microscopy of *in vitro* excystation. *Exp parasitol* 1984;57:62-7.
18. Smith JW, Wolfe MS. Giardiasis. *Annu Rev Med* 1980;31:373-83.
19. Current WL. The biology of *Cryptosporidium*. *Am Soc Microbiol News* 1988;54:605-11.
20. Blewett DA. Quantitative techniques in *Cryptosporidium* research. In: Angus KW, Blewett DA (Ed.). *Cryptosporidiosis Proceedings of the first International Workshop* Edinburgh: The Animal Disease Research Association; 1989. p 22-9.
21. Portincasa F, Torchetti G, Donadio F, Panaro M, Lisis A, Rizzi A, Maddalena F, Carmine OD, Brandonisio O. Valutazione di una metodica per la ricerca di cisti di *Giardia* ed oocisti di *Cryptosporidium* nelle acque. *Ig Mod* 1997;107:543-54.

22. Briancesco R, Della Libera S, Semproni M, Bonadonna L, Relationship between *Cryptosporidium* and microbiological water quality parameters in raw water. *J Prev Med Hyg* 1999;40:39-42.
23. Bonadonna L, Briancesco R, Ottaviani M, Veschetti E. Occurrence of *Cryptosporidium* oocyst in sewage effluents and correlation with microbial, chemical and physical water variables. *Environ Monit Assess* (in corso di stampa).
24. Roncioni A, Torre I, Villari P. Sulla presenza di *Giardia* spp e *Cryptosporidium* spp in acque superficiali della Campania. *Ig Moderna* 1997;108:251-63.
25. Conio O, Palumbo F, Borelli E, Pignata C, Gilli G, Carraro E. Contaminazione da *Giardia* spp e *Cryptosporidium* spp nelle acque destinate al consumo in Italia. *Ig Moderna* 2000;114:77-100.
26. Rippey SR, Watkins WD. Comparative rates of disinfection of microbial indicator organisms in chlorinated sewage effluents. *Water Sci Technol* 1992;26(9-11):2185-189.
27. Rose JB, Darbin H, Gerba CP. Correlations of Protozoa, *Cryptosporidium* and *Giardia*. with water quality variables in a watershed. *Water Sci Technol* 1988;20(11-12):271-76.
28. Korich DG, Mead J, Madore M, Sinclair N, Sterling C. Effects of Ozone, Chlorine Dioxide, Chlorine, and Monochloramine on *Cryptosporidium parvum* Oocyst Viability. *Appl Environ Microbiol* 1990;56(5):1423-428.
29. Fricker CR and Crabb JB. Water-borne Cryptosporidiosis: detection methods and treatment options. *Adv. Parasitol* 1998;40:241-78.
30. Bonadonna L, Ottaviani M. *Metodi di analisi per le acque destinate al consumo umano*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1997. (Rapporti ISTISAN 97/8).
31. Bonadonna L, Ottaviani M. *Metodi di analisi per le acque destinate al consumo umano*. Roma: Istituto Superiore di Sanità, 2000. (Rapporti ISTISAN 00/14 Pt. 2).
32. Bukhari Z, Mec Cuin RM, Fricker CR Clancy JL. Immunomagnetic separation of *Cryptosporidium parvum* from source water samples of various turbidities. *Appl Environ Microbiol* 1998;95-99.
33. Chauret C, Springthorpe S, Sattar S. Fate of *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and microbial indicators during wastewater treatment and anaerobic sludge digestion. *Can J Microbiol* 1999;45:257-62.
34. Sycora JL, Sorber C, Jakubowski W, Casson LW, Gavaghan PD, Shapiro MA, Schott MJ. Distribution of *Giardia* cysts in wastewater. *Nat Sci Tech* 1991;24(2):187-92.
35. Madore MS, Rose JB, Gerba CP, Arrowood MJ, Sterling CR. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts in sewage effluents and selected surface water. *J Parasitol* 1987;73:702-05.
36. Bukari Z, Smith HV, Syker N, Humphreys SW, Paton CA, Girdwood RWA and Fricker CR. Occurrence of *Cryptosporidium* spp oocysts and *Giardia* spp cysts in sawage influents and effluents from treatment plants in England. *Water Sci & Technol* 1997;11:385-90
37. Akin, EW, Jakubowski, W. Drinking water transmission of Giardiasis in the United States. *Water Sci & Technol* 1986;18:219-26
38. Le Chevallier, Norton WD. *Giardia* e *Cryptosporidium* in raw and finished water. *J Am Wat Works Assoc* 1995;87:54-68.
39. OMS. *L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture: recommandations à usées sanitaires*. Geneva: Organisation Mondiale de la Santé; 1989.
40. EPA. *Manual guidelines for water re-use*. Washington DC: Environmental Protection Agency; 1992. (EPA7625/R-92/004).

APPENDICE A
Schema del processo di depurazione

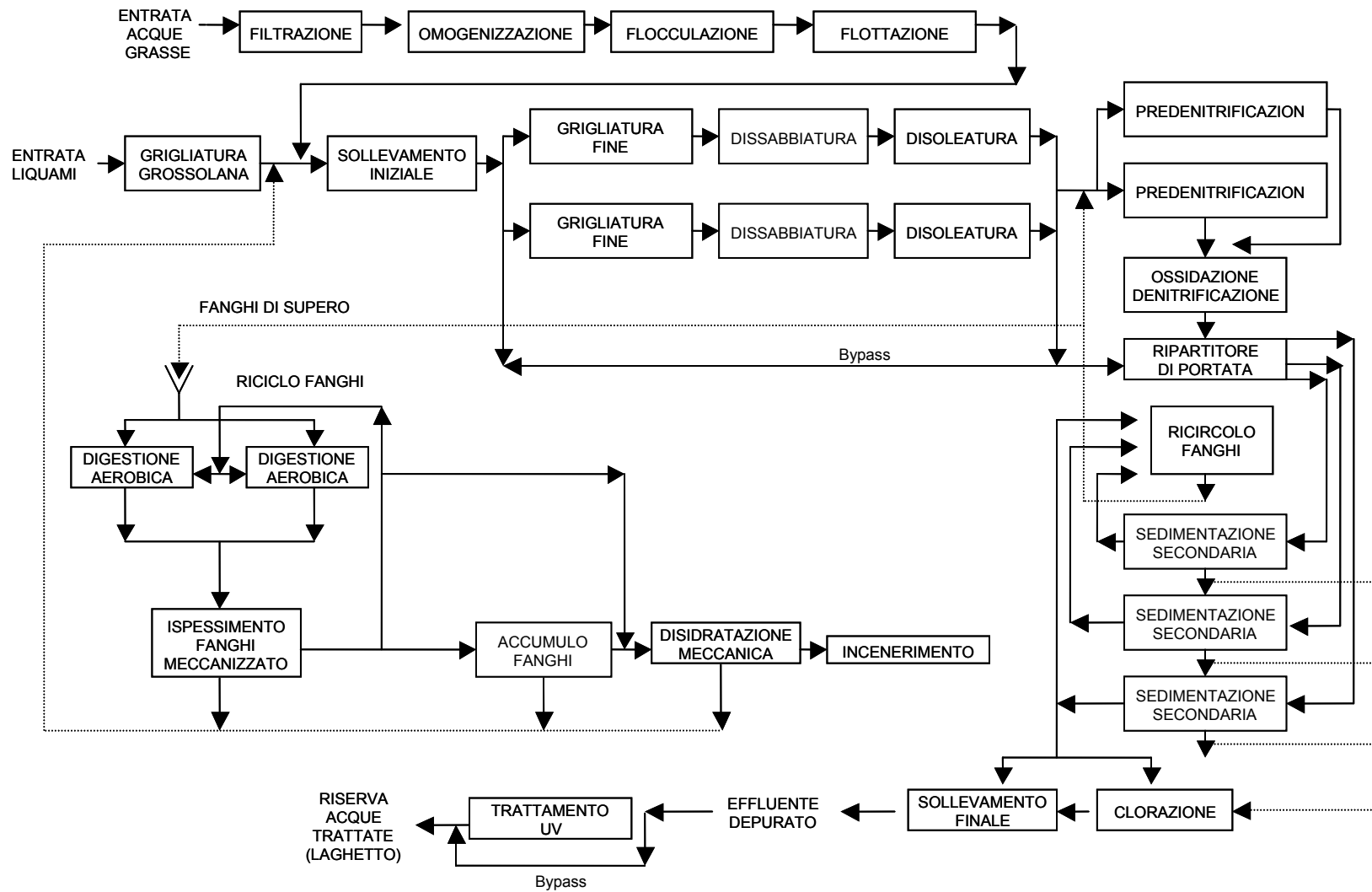


Figura A1. Schema del processo di depurazione dell'Aeroporto di Fiumicino

APPENDICE B
Tabelle degli abbattimenti

I dati si riferiscono all'impianto di trattamento di acque reflue sito presso l'Aeroporto "Leonardo da Vinci", e i controlli sono stati effettuati dal gennaio 2000 al gennaio 2001.

Tabella B1. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 1	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	100	100
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	60	50	80
<i>Giardia</i> ^(a)	98,5	100	100
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B2. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 2	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	97,5	99,9
Coliformi fecali	99,9	99,8	99,9
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	94,6	97,6	99,8
<i>Giardia</i> ^(a)	99,6	65,9	99,8
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B3. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 3	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	88,5	99,9
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	85,8	78,0	96,8
<i>Giardia</i> ^(a)	99,6	100	100
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B4. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 4	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	95,1	99,9
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	85,5	99,3	99,9
<i>Giardia</i> ^(a)	93,4	99,8	99,9
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B5. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 5	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,1	51,1	99,5
Coliformi fecali	99,9	96	99,9
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	33,3	99,9
Clostridi solfitoreduttori	68,9	3,3	99,6
<i>Giardia</i> ^(a)	99,0	95,6	99,9
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B6. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 6	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	98,4	99,9
Coliformi fecali	99,9	99,9	99,9
<i>E.coli</i>	99,9	99,9	99,9
Streptococchi fecali	99,9	99,7	99,9
Clostridi solfitoreduttori	73,3	96,2	99,0
<i>Giardia</i> ^(a)	98,1	99,2	99,9
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

Tabella B7. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 7	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	99,9	99,9
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	97,9	14,2	98,2
<i>Giardia</i> ^(a)	99,9	21,9	98,6
<i>Giardia</i> ^(b)	93,9	94,4	99,6
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	94,8	33,3	96,5

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

Tabella B8. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 8	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99	99,9	99,9
Coliformi fecali	94,3	99,9	99,9
<i>E.coli</i>	100	100	100
Streptococchi fecali	99,8	99,6	99,9
Clostridi solfitoreduttori	91,5	40,2	94,9
<i>Giardia</i> ^(a)	98,0	92,6	99,8
<i>Giardia</i> ^(b)	83,4	98,7	99,7
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	50	100	100

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

Tabella B9. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 9	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	96,3	99,9
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	3,3	67,5	68,6
<i>Giardia</i> ^(a)	98,0	92,6	99,8
<i>Giardia</i> ^(b)	90,6	96,6	99,6
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	91,8	91,6	99,3

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

Tabella B10. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 10	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	95,9	99,9
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	99,9	100	100
Streptococchi fecali	99,9	100	100
Clostridi solfitoreduttori	92,7	11,5	93,5
<i>Giardia</i> ^(a)	97,5	98,3	99,9
<i>Giardia</i> ^(b)	93,5	37,5	95,9
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	60	40	76

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

Tabella B11. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 11	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	100	100
Coliformi fecali	99,9	100	100
<i>E.coli</i>	100	100	100
Streptococchi fecali	100	100	100
Clostridi solfitoreduttori	82	97,4	93,5
<i>Giardia</i> ^(a)	99,1	38,8	99,5
<i>Giardia</i> ^(b)	99,1	58,0	99,8
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	95,8	4,7	96

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

Tabella B12. Percentuali di abbattimento conseguite nel corso del processo di depurazione

Campione 12	Abbattimento		
	per ossidazione/clorazione	per irraggiamento a UV	totale
Microrganismi			
Coliformi totali	99,9	85,1	99,9
Coliformi fecali	99,9	98,8	99,9
<i>E.coli</i>	99,9	99,6	99,6
Streptococchi fecali	99,7	91,1	99,9
Clostridi solfitoreduttori	51	80	90,2
<i>Giardia</i> ^(a)	99,0	97,3	99,9
<i>Giardia</i> ^(b)	91,1	96,4	99,6
<i>Cryptosporidium</i> ^(a)	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> ^(b)	97,7	70	99,3

a: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza

b: rilevamento per concentrazione/immunofluorescenza preceduta da chiarificazione per immunoseparazione

APPENDICE C
Tabelle delle correlazioni

Tabella C1. Coefficienti di correlazione (test di Spearman e Pearson) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e alcuni parametri microbiologici (le cisti sono state rilevate mediante concentrazione/immunofluorescenza)

Acqua grezza n. = 12	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.
<i>Giardia</i> ^(a)	-0,119	-0,509	-0,154	-0,348	0,126
<i>Giardia</i> ^(b)	0,064	-0,355	-0,068	-0,415	-0,095

a: Rho di Spearman

b: Test di Pearson

n.: numero di campioni considerati

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori

Tabella C2. Coefficienti di correlazione (test di Spearman e Pearson) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e alcuni parametri microbiologici (le cisti sono state rilevate mediante concentrazione/immunofluorescenza)

Effluente con ipoclorito n. = 12	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.
<i>Giardia</i> ^(a)	0,649*	0,637*	0,336	0,256	0,296
<i>Giardia</i> ^(b)	0,607*	0,536	0,198	0,352	0,412

a: Rho di Spearman

b: Test di Pearson

n.: numero di campioni considerati

* la correlazione è significativa a livello 0,05

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori

Tabella C3. Coefficienti di correlazione (test di Spearman e Pearson) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e alcuni parametri microbiologici (le cisti sono state rilevate mediante concentrazione/immunofluorescenza)

Effluente dopo UV n. = 12	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.
<i>Giardia</i> ^(a)	0,106	0,031	0,010	0,031	0,037
<i>Giardia</i> ^(b)	0,148	0,035	0,004	0,035	0,101

a: Rho di Spearman

b: Test di Pearson

n.: numero di campioni considerati

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori

Tabella C4. Coefficienti di correlazione (test di Spearman) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. e alcuni parametri microbiologici (cisti e oocisti sono state identificate mediante immunofluorescenza preceduta da chiarificazione mediante immunoseparazione)

Acqua grezza n. = 6	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.	<i>Giardia</i>	<i>Crypt.</i>
<i>Giardia</i>	0,143	0,029	0,143	0,169	0,71*	1,00	0,203
<i>Cryptosporidium</i>	0,290	0,551	0,580	0,857*	0,203	0,203	1,00

n.: numero di campioni considerati

* la correlazione è significativa a livello 0,05

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori, *Crypt.*: *Cryptosporidium*

Tabella C5. Coefficienti di correlazione (test di Spearman) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. e alcuni parametri microbiologici (cisti e oocisti sono state identificate mediante immunofluorescenza preceduta da chiarificazione mediante immunoseparazione)

Effluente con ipoclorito n. = 6	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.	<i>Giardia</i>	<i>Crypt.</i>
<i>Giardia</i>	0,600	0,029	0,314	0,464	0,086	1,00	0,829*
<i>Cryptosporidium</i>	0,371	0,072	-0,086	0,116	0,029	0,829*	1,00

n.: numero di campioni considerati

* La correlazione è significativa a livello 0,05

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori, *Crypt.*: *Cryptosporidium*

Tabella C6. Coefficienti di correlazione (test di Spearman) calcolati tra i protozoi *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. e alcuni parametri microbiologici (cisti e oocisti sono state identificate mediante immunofluorescenza preceduta da chiarificazione mediante immunoseparazione)

Effluente dopo UV n. = 6	CT	CF	SF	<i>E. coli</i>	Cl. Solf.	<i>Giardia</i>	<i>Crypt.</i>
<i>Giardia</i>	0,25	-0,778	-0,778	-0,393	-0,086	1,00	0,886*
<i>Cryptosporidium</i>	-0,406	-0,778	-0,778	-0,393	-0,429	0,886*	1,00

N: numero di campioni considerati

*La correlazione è significativa a livello 0,05

CT: Coliformi Totali, CF: Coliformi Fecali, SF: Streptococchi Fecali, Cl. Solf.: Clostridi Solfitoriduttori, *Crypt.*: *Cryptosporidium*

*Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità
e Direttore responsabile: Enrico Garaci*

*Coordinamento redazionale:
Paola De Castro e Sandra Salinetti*

*Stampato dal Servizio per le attività editoriali
dell'Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena, 299 - 00161 ROMA*

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN
deve essere preventivamente autorizzata.*

Reg. Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988

Roma, dicembre 2001 (n. 4) 1° Suppl.

*La responsabilità dei dati scientifici e tecnici
pubblicati nei Rapporti e Congressi ISTISAN è dei singoli autori*