

Qualità igienica di piscine naturali (PN)

Stefan Bruns and Christina Pepler

Stefan Bruns (autore corrispondente)
Christina Pepler
Polyplan GmbH,
Ueberseetor 14,
Brema 28217,
Germania
E-mail: Stefan.bruns@polyplan-gmbh.de
†

Questo lavoro descrive il trattamento dell'acqua in situ (trattamento dell'acqua all'interno della piscina) e il trattamento dell'acqua ex-situ (trattamento dell'acqua tramite impianti esterni) di PN, e l'influenza dello zooplancton sul tasso attuale di eliminazione del *Cryptosporidium* e *Giardia* in PN esistenti.

SOMMARIO

Le piscine naturali (PN) sono diventate più popolari negli ultimi 20 anni, sia per usi privati che pubblici, ma il loro stato igienico rimane un argomento di discussione. I tassi di eliminazione in PN sono ben definiti per *Escherichia Coli*, *Enterococchi* e *Pseudomonas*, ma esiste una mancanza di conoscenza per quanto riguarda tassi di eliminazione in PN riguardanti i protozoi parassiti *Giardia* e *Cryptosporidium*. I primi studi sulla filtrazione in situ ad opera dello zooplancton ha dimostrato di ridurre questi protozoi in modo efficiente: l'eliminazione in situ del *Cryptosporidium* dipende dalla popolazione di zooplancton. Nel 50% percentile il tasso di eliminazione è quattro volte più veloce che nella piscina clorata. L'eliminazione ex-situ del *Cryptosporidium* in una PN è circa il 10% più veloce che in una piscina clorata.

Nel trattamento ex-situ di PN il tasso di eliminazione ha raggiunto 2 log-step contro 1 log-step in piscine a cloro. Per un ulteriore sviluppo dello stato di igiene e salute delle PN alcune questioni elementari, dichiarate in questo documento, dovranno essere risolte nei prossimi anni o decenni.

Parole chiave | *Cryptosporidium*, *Giardia*, disinfezione in situ, piscine naturali, NSP

INTRODUZIONE

Le piscine naturali (PN) con trattamento biologico dell'acqua sono comparse in Austria negli anni '80, un Paese in cui la balneazione in acque naturali ha una lunga tradizione. La popolazione e le autorità governative non hanno mai avuto limitazioni sul nuoto in acque naturali. Probabilmente è per questo motivo che la costruzione della prima PN in Austria è stata concessa su approvazione governativa nel 1991. Da allora, l'idea di nuotare in strutture artificiali senza disinfezione chimica si è diffusa rapidamente. La situazione mondiale attuale delle PN è pubblicata dalla IOB, International Organization of Natural Bathing Waters <http://www.iob-ev.eu>. Una recensione completa sulla struttura, funzione e limnologia delle PN e applicazioni del trattamento dell'acqua è dato da Spieker et al. (2013).

Come in una piscina clorata, una PN lavora con disinfezione interna ed esterna: il regolamento tedesco delle PN, il regolamento FLL, classifica il trattamento delle acque in interno (in-situ) ed esterno (ex-situ) (FLL 2011). La modalità ex-situ consiste in differenti bio-filtri e piante acquatiche. La procedura in-situ è principalmente basata sulla filtrazione dello zooplancton, considerato essere il maggiore fattore che contribuisce alla depurazione dell'acqua (Bruns & Schwarzer 2013).

Oggi il concetto di PN è diffuso in Europa, con stime che parlano di circa 20.000 piscine in Europa, la maggior parte delle quali ad uso privato. In particolare, ci sono più di 900 piscine pubbliche appartenenti ad hotel, comunità e campeggi. L'introduzione del database online "DANA" (database for natural swimming pools), sviluppato in un progetto R&D fondato dal DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt – Fondazione ambientale federale tedesca) ha dimostrato di essere da supporto per la percezione delle PN come sistemi ben controllati biologicamente e tecnicamente (Bruns 2013). Ciononostante vi sono ancora alcune voci critiche che suppongono che le PN rappresentino un più alto rischio di infezioni batteriche rispetto alle piscine a cloro. Questa opinione è apparentemente supportata dal minor tempo di eliminazione di parametri indicatori Escherichia coli, Enterococchi e Pseudomonas Aeruginosa nelle piscine a cloro con trattamento esterno confrontato con le PN. Nonostante questo la popolarità delle PN è cresciuta negli ultimi 20 anni. La ricerca qui presentata riflette un aspetto di uno sviluppo a lungo termine avuto luogo negli ultimi 16 anni, intrapreso da differenti enti internazionali, istituti d'igiene, università, associazioni ed imprese. Questo documento presenta una prima stima del tasso di eliminazione potenziale per protozoi come Giardia e Cryptosporidium nelle PN. Questi sono i parassiti protozoi patogeni identificati più frequentemente nel mondo, con conseguenze sanitarie ed economiche (Redder et al. 2010; Fletcher et al 2012 danno una visione comprensiva di epidemiologia, prevenzione e controllo di parassiti protozoi).

L'eliminazione si ottiene attraverso due processi principali:

1. disinfezione in situ attraverso la purificazione dell'acqua all'interno della piscina
2. disinfezione ex-situ attraverso la purificazione esterna dell'acqua.

DISINFEZIONE IN-SITU

In Germania sono disponibili diversi studi sulla eliminazione dei patogeni derivante dal metabolismo dello zooplancton, definita come "disinfezione interna". Bruns & Wunderlich (2010) ed Eydeler & Spieker (2010) si sono ampiamente occupati di questo tema, soprattutto perché riguarda le piscine pubbliche con depurazione biologica dell'acqua, in particolare PN. Lo studio di Eydeler & Spieker (2010) su 13 PN è stato condotto in Germania con l'obiettivo di registrare dati semi-qualitativi sulla popolazione di zooplancton. I test hanno rilevato la presenza dei generi Flagellata, Ciliata, Rota-toria, Cladocera e Copepoda (Tabella 1).

La misurazione dello zooplancton è stata effettuata secondo le linee guida FLL (2011) utilizzando una rete per plancton (55µm di garza) con annesso un cono di calibrazione del volume per prelevare il campione. La rete deve essere tirata per quanto possibile sopra l'intera colonna d'acqua, e il campione di zooplancton deve essere conservato in formaldeide al 4% per una ulteriore determinazione.

Zooplankton	Minimum Fmin ml/Ind./d	Maximum Fmax ml/Ind./d	Average Fav ml/Ind./d
Ciliata	0.012	0.163	0.0875
Rotatoria	0.007	16.992	8.5
Copepoda	0.048	129.6	64.824
Cladocera	0.096	66.48	33.288

Tabella 1 | Tassi di filtrazione dello zooplancton, tenendo conto della filtrazione specifica minima (Fmin), massima (Fmax) e media (Fav) (Eydeler & Spieker 2010)

L'Agenzia federale per l'ambiente raccomanda il campionamento ogni settimana durante il primo anno di attività. Se i limiti microbiologici non vengono raggiunti nel 95% dei campioni, il campionamento può essere ridotto ad ogni due settimane. Le PN sono state assegnate a due gruppi diversi, in funzione del tasso di ricircolo, per valutare una differenza potenziale tra piscine con alto tasso di filtrazione (da 2,6 a 10 *giorno⁻¹) e quelli con basso tasso di filtrazione (da 0 a 2,5*giorno⁻¹):

Gruppo 1: è stato individuato un tasso di bassa filtrazione per valori di ricircolo compresi tra 0 e 2,5 volte al giorno.

Gruppo 2: è stato definito un tasso di alta filtrazione per valori di fatturato compresi tra 2,6 e 10 volte al giorno.

I risultati sono indicati in Fig.1. Il tasso massimo di filtrazione si verifica con circa 20 m³/m³/d, il 10° percentile si ha a circa 0,04 m³/m³/d. La figura 1 mostra il tasso di filtrazione interna tramite zooplanctonin in m³ per (m³ volume bacino)/d. Questa mostra che il 30° per cento del tasso di filtrazione è compreso tra 94 e 118 l/m³/d. Il tasso massimo rilevato, che non è mostrato in Figura 2, era 20,000 l/m³/d o 20 m³/m³/day. Secondo Connelly et al. (2007) il tasso di eliminazione per Giardia e Cryptosporidium può essere assunto come 1 logstep.

DISINFEZIONE EX-SITU

La disinfezione tramite trattamento esterno dell'acqua è fondamentale per garantire la sicurezza del sistema sia per gli utenti che per l'ambiente. Uno studio sull'eliminazione dei microrganismi con filtri di substrato per piccoli stagni di balneazione condotto dall'Agenzia Federale Tedesca per l'Ambiente (Grunert et al. 2009) ha dimostrato che è possibile ottenere un tasso di eliminazione degli *Escherichia coli* con due log-step, che rappresenta un tasso di degradazione di circa il 99%. In uno studio di Bruns & Schwarzer (2013), l'Università di Hannover (ISAH, documento di ricerca inedito) ha inoltre effettuato dei test con *coli* ed *Escherichia coli*, utilizzando un filtro, un serbatoio d'acqua e un'unità di dosaggio per il fosforo e lo zooplancton. Il serbatoio di prova è stato inoculato con colifagi. Il tasso di eliminazione come fattore della colonna filtrante è stato dal 93 al 99% (colonna filtrante 0,8 m, materiale filtrante: pietrisco ricco di calcare (Oolith), particelle da 2 a 5 mm di diametro, carico idraulico da 6 a 24 m³/m²/giorno). È noto che l'eliminazione e l'alloggiamento dei microrganismi patogeni è mediata dal biofilm sulla superficie del substrato.

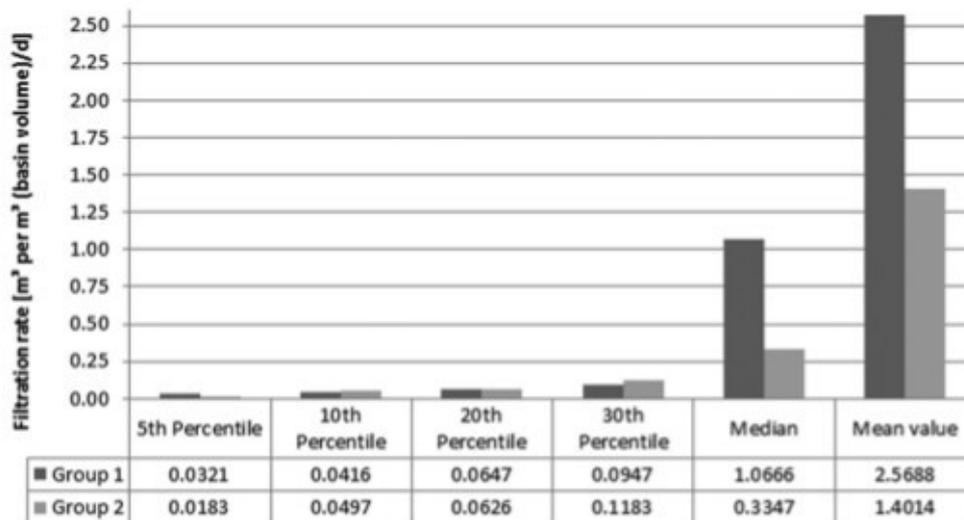


Figura 1] Risultati dei tassi di zooplanctonfiltrazione (in-situ), assegnati al gruppo 1 della piscina (alto tasso di filtrazione del trattamento dell'acqua) e al gruppo 2 della piscina (basso tasso di filtrazione del trattamento dell'acqua) (Brunns & Wunderlich 2010).

Elimination by 1 log step in the pool water	Percentile	In-situ		Protozoans [min]	Elimination rates	Ex situ Protozoans [min]	Specific elimination rates (water treatment ex-situ)
		E. coli [min]	In-situ				
Chlorinated pool, 0,6 mg/l, 3 Filtration rates/d NSP (group 2); 0,04 m ³ /m ³ Zooplankton filtration, 3 filtration rates/d	10%		3	12000	Protozoans (200 h one Log step)	1230	Protozoans (1.0 Log)
NSP (group 2); 0,11 m ³ /m ³ Zooplankton filtration, 3 Filtration rates/d	30%		83800	92000	Protozoans (1.0 Log/ zooplankton filtration)	1110	Protozoans (2.5 Log)
NSP (group 2); 1,066 m ³ /m ³ Zooplankton filtration, 3 filtration rates/d	50%		30500	33500	Protozoans (1.0 Log/ zooplankton filtration)	1110	Protozoans (2.5 Log)
			3150	3450	Protozoans (1.0 Log/ zooplankton filtration)	1110	Protozoans (2.5 Log)

Figura 2| Tempo di asciugatura [min] necessario per ottenere una riduzione di Giardia e E. coli con 1 log step nell'acqua della piscina, sia per la disinfezione in situ sia per la disinfezione ex-situ di una piscina clorurata rispetto ad una PN del gruppo 2 (10%,30%,50%) percentile.

Redderet al.(2010) ha eseguito un esperimento comparabile riguardante l'eliminazione di *Cryptosporidium* e *Giardia*. Da questi dati si può supporre che un tasso di eliminazione di batteri e virus superiore al 90% sia possibile in sistemi di purificazione biologica esterna dell'acqua di PN. Il cloro, al contrario, non ha un impatto serio sulla riduzione della concentrazione di *Giardia* e *Cryptosporidium*. Di conseguenza, per l'acqua clorata delle piscine c'è un basso impatto del trattamento dell'acqua *in situ* su questi agenti patogeni. Per le nostre considerazioni abbiamo ipotizzato che l'impatto esterno causato da una combinazione di flocculazione e filtrazione a valle porta ad un tasso di eliminazione di circa 1 log step. Questa ipotesi deriva da Castro-Hermida et al. (2010), che ha trovato un tasso di eliminazione inferiore a 1 log step per i trattamenti di flocculazione e disinfezione combinati ed è anche supportata da Bergstedt et al.(2000), che ha determinato i tassi di eliminazione per la flocculazione di particelle parassite utilizzando diversi coagulanti, ottenendo fondamentalmente una riduzione di 1 log step. Secondo WHO (2006) la coagulazione e la filtrazione sono passi necessari per la rimozione di *Cryptosporidium* oocisti, *Giardiacisti* e altri protozoi che sono resistenti alla disinfezione chimica; la rimozione e l'inattivazione di cisti e oocisti (dei protozoi) si verificano solo nella frazione di acqua che passa attraverso il trattamento, e poiché una piscina è un sistema omogeneo e non a plugflow, il tasso di riduzione della concentrazione nel volume della piscina è lento.

Nelle PN la popolazione esistente di zooplancton ha il potenziale di riduzione del numero di *Giardia* e *Cryptosporidi* efficiente, cioè il tasso di eliminazione potenziale può raggiungere numeri elevati se la popolazione di zooplancton è grande. La ricerca sopra menzionata ha indicato l'elevato tasso di eliminazione della popolazione di zooplancton. La figura 2 fornisce i tempi di eliminazione necessari per ottenere una riduzione di 1 log step per le piscine clorurate e per le PN (gruppo 1), sulla base di un calcolo numerico che utilizza i dati presentati in Figura 1. Il calcolo numerico è stato effettuato in intervalli di tempo di 5 min. Per i tassi di filtrazione ex-situ di entrambi i tipi di piscine, clorurate e PN, è stato imposto un tasso di scambio d'acqua di tre volte al giorno (fare riferimento alla colonna 1). I tassi di eliminazione specifici per la piscina clorurata sono elencati nella prima riga.

La Figura 2 evidenzia i seguenti aspetti:

1. L'eliminazione ex-situ di *Cryptosporidium* in PN è circa il 10% più veloce che nella piscina clorurata, visto il tasso di eliminazione di 2,5 log step in PN e il tasso di eliminazione molto più basso di 1 log step nella piscina clorurata.
2. L'eliminazione in-situ di *Cryptosporidium* è dipendente dalla popolazione di zooplancton. Nella percentuale del 50% il tasso di eliminazione è quattro volte più veloce che nella piscina clorurata.

Nella figura 3 è riportato il corrispondente tasso di ricircolo, necessario per ridurre la concentrazione di C_0 a $C_{10\%}$. Il calcolo è stato effettuato secondo la seguente formula:

$$C = C_0 * e^{-(V/V_0)*f}$$

dove:

V_0 = Volume d'acqua del bacino;

V = Acqua trattata;

f = Tasso di eliminazione del trattamento al 90% ($f=0,9$);

e = numero di Eulero;

I risultati mostrano che ci vorranno circa 2,3 scambi d'acqua in un PN e 2,55 scambi d'acqua in una piscina clorurata per ridurre la concentrazione interna di *Giardia* o di *Cryptosporidium* al 10% con il trattamento esterno dell'acqua. Se la popolazione di zooplancton raggiunge il valore mediano, filtra l'acqua circa 1 volta/24 h. In questo caso gli scambi d'acqua necessari per il trattamento dell'acqua saranno ridotti a 1.3 in PN in confronto a circa 2.4 nella piscina clorurata. La figura 3 si occupa solo della disinfezione ex-situ e non della disinfezione in-situ.

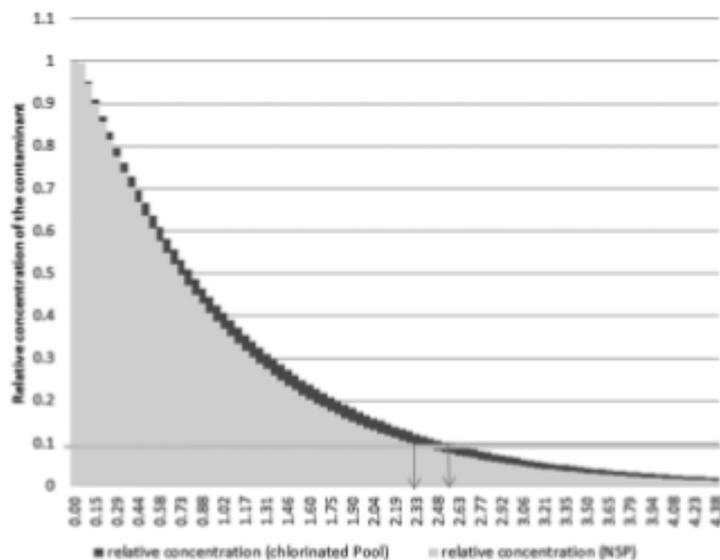


Figure 3 | Relative concentration of *Giardia* or *Cryptosporidium* in relation to the turnover rate.

SINTESI E ULTERIORI RICERCHE NECESSARIE

Questi primi risultati della ricerca indicano quanto segue:

1. Per quanto riguarda l'efficacia dell'eliminazione biologica dell'*E. Coli* la piscina a cloro sarà molto più efficace di qualsiasi PN;
2. Per quanto riguarda i protozoi, la PN otterrà migliori tassi di eliminazione in situ con una probabilità di circa il 60% ed ex-situ con una probabilità del 100%.

Ulteriori ricerche devono essere fatte per rispondere alle seguenti domande:

1. Il tasso di eliminazione per *Giardia* e *Cryptosporidium* determinato da Connelly et al. (2007) per una specie di zooplancton (*Daphnia*) è applicabile a tutte le specie di zooplancton che si verificano, come richiesto dalla FLL (2011), o ci sono tassi di eliminazione specie-specifiche?

2. Lo zooplancton filtrerà prevalentemente l'acqua nelle regioni ad alta densità di nutrienti (uno scenario realistico)? Questo fatto migliorerebbe l'effettivo e reale tasso di eliminazione.

3. La popolazione del plancton è distribuita in modo più o meno omogeneo, in modo da poter assumere che la stessa alimentazione sia presente in tutta la colonna d'acqua?

4. Ci sono altri aspetti del trattamento interno dell'acqua delle PN che possono causare la riduzione degli agenti patogeni, oltre al tasso di prelievo attraverso lo zooplancton?

Inoltre, Bonilla et al. (2015) ha raccomandato altri studi per migliorare il recupero e per ridurre al minimo la variabilità nella quantificazione dei protozoi, soprattutto per quanto riguarda i recuperi a concentrazioni più basse, tipicamente osservati nelle acque ricreative. Per l'ulteriore sviluppo delle PN per il miglior stato di igiene e salute possibile, queste questioni elementari dovranno essere risolte nei prossimi anni o decenni.

REFENRENZE

Bergstedt, O., Rydberg, H. & Werner, L. 2000 Flow cytometry as an operational tool to improve particle removal in drinking water treatment (pp. 147–157). In: Hermann H. Hahn, Erhard Hoffmann & Hallvard Odgaard (eds), *Chemical Water and Wastewater Treatment VI; Proceedings of the 9th Gothenburg Symposium 2000*, 2–4 October 2000, Istanbul, Turkey, Springer, 378 pp.

Bonilla, J. A., Bonilla, T. D., Abdelzaher, A. M., Scott, T. M., Lukasik, J., Solo-Gabriele, H. M. & Palmer, C. J. 2015 Quantification of protozoa and viruses from small water volumes. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12(7), 7118–7132. Published online 24 June 2015. doi: 10.3390/ijerph120707118. PMID: PMC4515645.

Bruns, S. 2013 Datenbank für Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung (DANA), Auswertung der Hygienesituation auf Basis der DANA (Database for outdoor pools with biological water treatment (DANA), evaluation of the hygienic situation based on DANA). *AB Archiv des Badewesens* 66(10), 637–649.

Bruns, S. & Schwarzer, U. 2013 Performance of Public Swimming Ponds—An Overview of Hygiene in Pools with Biological Water Purification. Brochure, 1st edn, 24 pp. Internationale Organisation für naturnahe Badegewässer (IOB), www.iob-ev.eu.

Bruns, S. & Wunderlich, A. 2013 Herleitung einer neuen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Nennbesucherzahl (Deliniation of a new method of calculation for the determination of the nominal numbers of visitors). *Archiv für das Badewesen* 63(5), 279–289.

Castro-Hermida, J. A., García-Preedo, I., González-Warleta, M. & Mezo, M. 2010 Cryptosporidium and Giardia detection in water bodies of Galicia, Spain. *Water Res.* 44, 5887–5896.

Connelly, S. J., Wolyniak, E. A., Dieter, K. L., Williamson, C. E. & Jellison, K. L. 2017 Impact of zooplankton grazing on the excystation, viability, and infectivity of the protozoan pathogens *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. *Applied and Environmental Microbiology* 73(22), 7277–7282.

Eydeler, I. & Spieker, J. 2010 Die Elimination durch Zooplankton—Wasserreinigung in Schwimm- und Badeteichen (Germ elimination by zooplankton—water purification in swimming and bathing ponds). *Archiv für das Badewesen* 3, 167–175.

Fletcher, S. M., Stark, D., Harkness, J. & El, J. 2012 Enteric protozoa in the developed world: a public health perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 25(3), 420–449, doi: 10.1128/CMR.05038-11. <http://cmr.asm.org/content/25/3/420.full.pdfhtml>.

FLL 2011 Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche) (FLL Landscaping and Landscape Development Research Society: Recommendations for planning, construction, service and operation of outdoor swimming pools with biological water purification (Swimming and Bathing Ponds)), 2011, DIN A4, Brochure, 99 pp.

Grunert A., Arndt, Bartel H, C., Dizer, H., Kock, M., Kubs, M. & López-Pila, J. M. 2009 Entfernung von Mikroorganismen durch Bodenfilter für Kleinbadeteiche (elimination of microorganisms by soil filters for small bathing ponds). *Bundesgesundheitsblatt–Gesundheitsforschung–Gesundheitsschutz* 52, 228–237. doi: 10.1007/s00103-009-0768-x.

Redder, A., Duerr, M., Daeschlein, G., Baeder-Bederski, O., Koch, C., Mueller, R., Exner, M. & Borneff-Lipp, M. 2010 Constructed wetlands—are they safe in reducing protozoan parasites? *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213, 72–77.

Spieker, J., Hirsch, S., Schwarzer, C., Schwarzer, U., Frehse, H. & Bruns, S. 2013 Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche) (Outdoor swimming pools with biological water treatment (swimming and bathing ponds)). Chapter VI-2.6 In: *Handbuch Angewandte Limnologie (Handbook of Applied Limnology)* 30, Erg. Lfg. (supplement) 12/12 (M. Hupfer, W. Calmano, H. Fischer & H. Klapper, eds). Wiley-VCH, Weinheim, 28 pp.

WHO 2016 Guidelines for Safe Recreational Water Environments: Volume 2 Swimming Pools and Similar Environments. World Health Organization, Geneva, Switzerland. http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe2full.pdf.

First received 4 September 2017; accepted in revised form 29 March 2018. Available online 30 April 2018